Beitrag zum Ermitteln von Prioritätsstufen zur fahrtkonkreten Beeinflussung von Lichtsignalanlagen und zur Anschlusssicherung im ÖPNV

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

der Technischen Universität Dresden

von

Dipl.-Ing. Shiguang Jin

aus Qingdao, VR China

1. Gutachter: Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer König

2. Gutachter: Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krimmling

Eingereicht am: 18.06.2012

Verteidigt am: 19.10.2012

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die im Jahr 2002 erschienene DIN EN 13816 [9] stellt wichtige Grundlagen für die Definition der Qualität im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und für das Handeln in der Praxis dar. Während sich die Verkehrsunternehmen mehr um das Verbessern ihrer technik- und prozessorientierten Qualitätsziele, wie Auslastungsgrade, Wirkungsgrade oder Betriebsabläufe bemühen, legen die Fahrgäste deutlich mehr Wert auf die subjektiv empfundene Qualität, wie Verfügbarkeit des Angebotes, Wartezeit, Fahrzeit und Anschlusssicherheit [19]. Der Wettbewerb fordert von den Verkehrsunternehmen, den Betrieb wirtschaftlich hoch effizient durchzuführen. Das führt in einigen Situationen zu Interessenkonflikten zwischen den Verkehrsunternehmen und den Fahrgästen. Die Kürzung der Zuschüsse der öffentlichen Hand verschärft das Problem weiter. Letztlich stellen die Fahrgäste durch ihre Bereitschaft, den öffentlichen Verkehr (ÖV) zu nutzen, die wichtigste vorhandene und potenzielle Finanzquelle für die Verkehrsunternehmen dar. Somit lassen sich nur durch Erhöhen der Zufriedenheit und Zahlungsbereitschaft der Fahrgäste sowie durch Gewinnen neuer Kunden die Ziele der Verkehrsunternehmen und der Fahrgäste zusammenführen.

Zahlreiche Fahrgastbefragungen bestätigen, dass Pünktlichkeit und Anschlusssicherheit unter den wichtigsten Kriterien der Servicequalität aus Sicht der Fahrgäste sind ([103] und [104]). Sie spielen daher eine Schlüsselrolle, um die Zufriedenheit der Fahrgäste zu erhöhen.

Die Abhängigkeiten zwischen der Pünktlichkeit, der Anschlusssicherheit und der Kundenzufriedenheit werden in Anlehnung an das Arbeitspapier Nummer 64 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [18] wie folgend zusammengefasst:

Pünktlichkeit → Anschlusssicherung-→ Verlässlichkeit → Kundenzufriedenheit → Kundenzuwachs → Einnahmesteigerung

Das Beeinflussen von Lichtsignalanlagen durch öffentliche Verkehrsmittel ist mittlerweile Standard in deutschen und ausländischen Städten. Eine kürzere Beförderungszeit mit geringerer Behinderungszeit an Lichtsignalanlagen (LSA) erhöht wesentlich die Attraktivität

des öffentlichen Verkehrs für die Fahrgäste. Dafür treten aber oft Zielkonflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern auf [16]. Eine im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Befragung zeigt, dass in der Praxis an der LSA ein verfrühtes Verkehrsmittel in der Regel genau wie ein stark verspätetes behandelt wird, ein Fahrzeug mit großer Wendezeit genau wie eines mit knapper Zeitreserve oder ein ins Depot einrückendes genau wie ein zu einem wichtigen Anschluss eilendes. Helfen könnte, dass die öffentlichen Verkehrsmittel bedarfsgerecht nach ihren fahrtkonkreten Randbedingungen die LSA beeinflussen. Im Interesse von Pünktlichkeit und Verlässlichkeit ist es also sinnvoll, von einem generellen Bevorrechtigen öffentlicher Verkehrsmittel zu einem bedarfsgerechten überzugehen und damit zu einem fahrtkonkreten Beeinflussen der Lichtsignalanlagen. Dieser Ansatz der kooperativen Lichtsignalanlagen wird in [33] vorgestellt. Das erfordert zunächst, die konkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen einer jeden Fahrt an jedem Ort genau zu kennen und in Prioritätsstufen einzuordnen.

Die Befragung bestätigt auch, dass Anschlüsse bei vielen Verkehrsunternehmen geplant werden. Geplant werden sie überwiegend in der Schwachverkehrszeit. In der Hauptverkehrszeit dagegen sinkt ihre Zahl aufgrund der geringeren Betriebsstabilität. Eine Sicherung der Anschlüsse erfolgt bei den meisten Unternehmen allerdings vielfach nur bei besonders wichtigen Anschlüssen und häufig nur bei planmäßigem Betrieb [11].

Der in der Praxis immer mehr anzutreffende Bordrechner im Fahrzeug und das rechnergestützte Betriebsleitsystem bieten die technische Möglichkeit, die fahrtkonkreten betrieblichen und verkehrlichen Randbedingungen exakt zu erfassen und zu verarbeiten. Im Rahmen des Projektes „Verbesserung der Verkehrssteuerung auf der Nord-Süd-Verbindung in Dresden“ [22] war es möglich, gemeinsam mit der Dresdner Verkehrsbetriebe AG und der Stadt Dresden unter Leitung der Professur für Verkehrsleitsysteme und -prozessautomatisierung der Technischen Universität Dresden an einen ersten Pilotprojekt dazu mitzuwirken [31].

1.2 Zielstellung und Vorgehensweise

Um dem oben genannten Zusammenhang

Höhere Pünktlichkeit → bessere Anschlusssicherheit → größere Verlässlichkeit

näher zu kommen, soll in dieser Arbeit ein Lösungsansatz zum Ermitteln von Prioritätsstufen zur fahrtkonkreten Beeinflussung von Lichtsignalanlagen und zur Anschlusssicherung aus

Sicht des öffentlichen Verkehrs entwickelt werden. Fahrtkonkrete LSA-Beeinflussung bedeutet, öffentliche Verkehrsmittel im Einklang mit dem allgemeinen Verkehrsablauf nach ihrer Pünktlichkeit und verkehrlichen Bedeutung zu behandeln. Dafür sollen den öffentlichen Verkehrsmitteln Prioritätsstufen für die Pünktlichkeit und für zusätzliche Attribute zugeordnet werden. Eine fahrtkonkrete Anschlusssicherung muss sowohl den verkehrlichen Wert des Anschlusses als auch die aktuelle Betriebslage einbeziehen. Dafür soll nicht nur ein notwendiges Warten des Abbringers unter Beachtung der fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen geprüft werden, sondern insbesondere auch das Nutzen signaltechnischer Maßnahmen zur Anschlusssicherung. Verkehrlich wichtige Anschlüsse sind aus der Vielzahl möglicher Anschlussbeziehungen vorab auszuwählen.

Das Betrachten der fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen soll dem Verbessern der Betriebsstabilität und dem Sichern der Anschlüsse gleichermaßen dienen. Darüber hinaus können Freigabezeiten gewonnen werden, um die Belange der anderen Verkehrsteilnehmer an der LSA besser zu berücksichtigen [33].

Zunächst erfolgt eine Vorstellung der theoretischen Grundlagen, in der auch wesentliche Fachbegriffe und die verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen des ÖPNV erklärt werden.

Danach werden vorhandene Lösungsansätze sowohl in der Forschung als auch in der Praxis recherchiert und untersucht. Insbesondere für die Recherche aktueller Anwendungen in der Praxis wurde eine Befragung bei Verkehrsunternehmen in mehreren deutschen Großstädten durchgeführt.

Anschließend erfolgt das Vorstellen theoretischer Lösungsansätze als Voraussetzung für die fahrtkonkrete LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung. Den Anfang bilden die im Rahmen dieser Arbeit weiter entwickelten theoretischen Grundlagen. Danach werden allgemein gültige Algorithmen entwickelt. Sie behandeln zum einen das Ermitteln von Prioritätsstufen zur fahrtkonkreten Beeinflussung von Lichtsignalanlagen, indem die verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen eines öffentlichen Verkehrsmittels berücksichtigt werden. Dafür ist eine neue Methodik für die Ermittlung der Pünktlichkeit eines Fahrzeugs entstanden. Zum anderen wird ein allgemein gültiger Algorithmus zur Anschlusssicherung entwickelt, in dem die Entscheidung für die Anschlussgewährung nunmehr anhand der fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen getroffen wird.

Ein Test der entwickelten Verfahren und Algorithmen durch Simulation schließt die Arbeit ab.

2 Begriffsbestimmungen und Problemdarstellung

Das zu entwickelnde Verfahren zur fahrtkonkreten LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung aus Sicht des ÖV hat sowohl Auswirkungen auf verschiedene Verkehrsteilnehmer als auch auf unterschiedliche Fahrgastgruppen. Sie alle haben eigene Anforderungen an den Verkehrsablauf. Bevor das Verfahren entwickelt werden kann, muss ermittelt werden, wo genau Entwicklungsbedarf ist und was dafür zu steuern ist. Dafür sind zuerst wichtige Begriffe und Randbedingungen zu klären.

2.1 Grundbegriffe

2.1.1 Reisezeit der Fahrgäste

Die **Reisezeit der Fahrgäste** lässt sich nach Bär in **Komplexe Reisezeit** und **Reisezeit im ÖV** unterteilen [5]. Die komplexe Reisezeit beschreibt die Zeitdauer vom Verlassen der Reisequelle bis zum Erreichen des Reiseziels. Die Reisezeit im ÖV ist die Zeit vom Einsteigen ins Fahrzeug des ÖPNV an der ersten Zugangsstelle und bis zum Aussteigen aus dem Fahrzeug des öffentlichen Personennahverkehrs an der letzten Abgangsstelle. Dabei ist unerheblich, ob der Fahrgast umsteigen muss oder nicht. Abbildung 1 zeigt schematisch die Reiseketten von zwei Fahrgästen. Fahrgast 1 schafft seine Reise mit der Linie A ohne Umsteigen und Fahrgast 2 benötigt für seine Reise ein einmaliges Umsteigen von der Linie A zur Linie B. Den Zu- und Abgang können die beiden Fahrgäste verschieden gestalten, möglich sind Gehen oder Radfahren.

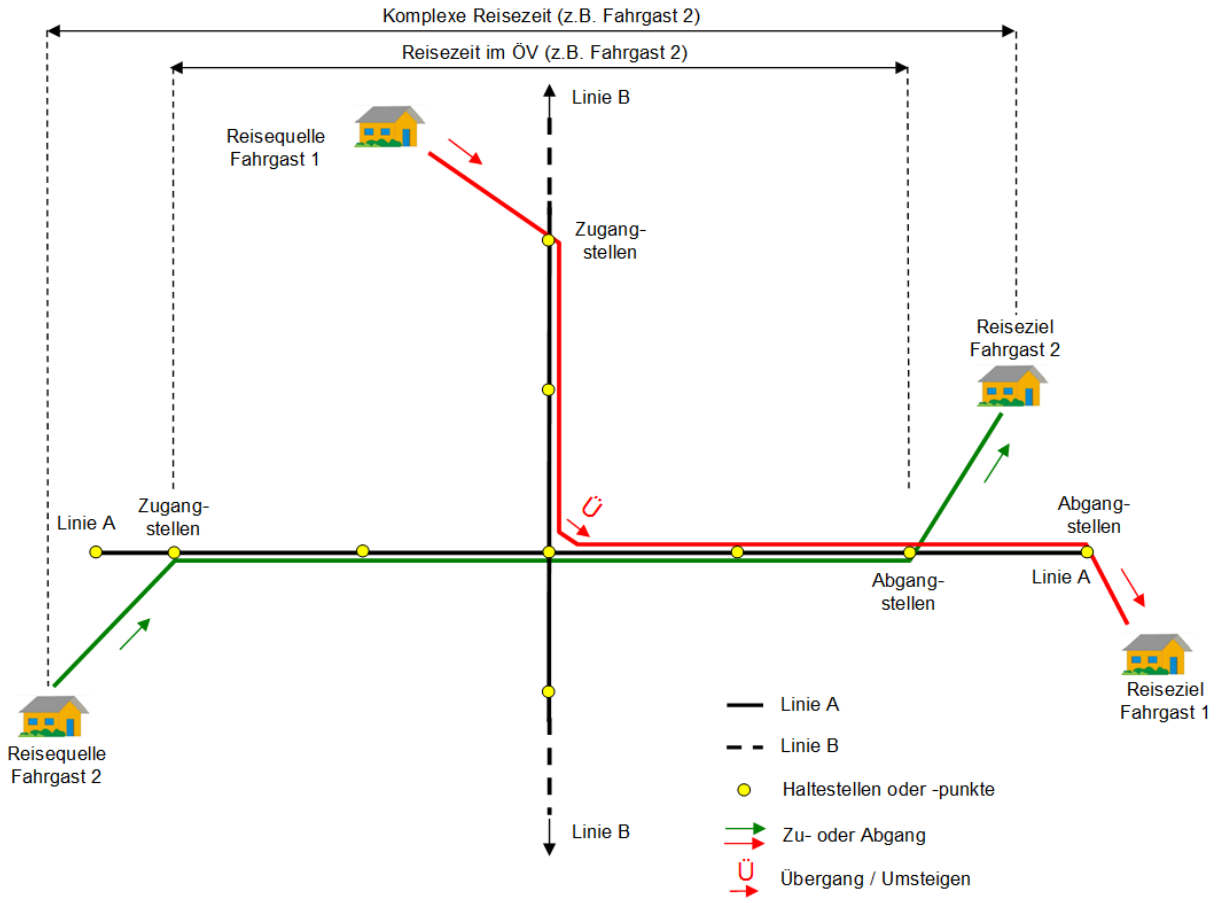


Abbildung 1: Reisezeiten der Fahrgäste

Da im städtischen öffentlichen Verkehr umsteigefreie Verbindungen nur begrenzt realisierbar sind, stellt die Reisekette mit Umsteigen eine häufige Art dar. Wie Tabelle 1 zeigt, umfasst die Reisezeit im öffentlichen Verkehr die Fahr- und Haltezeit im Fahrzeug sowie die Übergangszeit.

Komplexe Reisezeit				
Zugangszeit	Reisezeit im ÖV			Abgangszeit
	Fahrzeit	Haltezeit	Übergangszeit	

Tabelle 1: Reisezeit der Fahrgäste [5]

Die **Übergangszeit** bezeichnet die Zeitdifferenz zwischen der Abfahrt des Abbringerfahrzeugs und der Ankunft des Zubringerfahrzeugs. Sie kann wesentlich die Länge der Reisezeit beeinflussen. Nach der Verkehrserhebung „Mobilität in Städten – SrV2008“ [46] beträgt die durchschnittliche mit Bussen und Straßenbahnen zurückgelegte Weglänge pro Reise im ÖPNV in Deutschland 6,5 km und dafür wird eine mittlere Reisezeit von 32,5 min benötigt. In deutschen Großstädten verkehren die Stadtverkehrsmittel häufig in einem 10-

min-Takt. Das kann die Spannweite der Reisezeit allein wegen des Anschlusses mit günstigem Anschluss oder gerade verpasstem Anschluss eine Höhe von bis zu einer Taktzeit erweitern, was allein einem Viertel bis einem Drittel der mittleren Reisezeit entspricht. Das zeigt aber auch, dass eine gute Anschlussgewährung die Reisezeit der Kunden des ÖPNV wesentlich reduzieren kann. Die Übergangszeit ist direkt von der Fahrplangestaltung abhängig und verändert sich darüber hinaus mit der aktuellen Fahrplanlage der beiden Anschlussfahrzeuge.

2.1.2 Zeitanteile eines Fahrzeugumlaufs

Ein Fahrzeugumlauf, auch Wagenumlauf genannt, enthält in der Regel die in Tabelle 2 dargestellten Zeitelemente.

<table>
<tr><td rowspan="2">Regel-Fahrzeit</td><td rowspan="2">Behinderungszeit und Beförderungszeit-zuschläge</td><td rowspan="2">(Synchronisationszeit)</td><td rowspan="2">Regel-Haltezeit</td><td rowspan="4">Wendezeit</td></tr>
<tr></tr>
<tr><td colspan="2">Fahrzeit</td><td colspan="2">Haltezeit</td></tr>
<tr><td colspan="4">Beförderungszeit</td></tr>
<tr><td colspan="5">Umlaufzeit</td></tr>
</table>

Tabelle 2: Zeitelemente eines Fahrzeugumlaufes in Anlehnung an [5]

Umlaufzeit bezeichnet die Zeit zum Absolvieren eines vollständigen Fahrzeugumlaufs.

Beförderungszeit ist der Teil der Umlaufzeit, der zum Befördern von Fahrgästen im Rahmen einer Fahrt dient.

Wendezeit bezeichnet den Teil der Umlaufzeit, der zwischen zwei Fahrten zum Befördern von Fahrgästen liegt. Er ist ein wichtiger Umlaufzeitanteil, der am Endpunkt für das Ausgleichen der Verspätungen und das Zurücklegen einer Leerfahrt, für das Vorbereiten der nächsten Fahrt und das Gewähren der Zeit für persönliche Bedürfnisse oder Pausen des Fahrpersonals vorgesehen ist.

Fahrzeit ist Teil der Beförderungszeit und bezeichnet die Zeit, in der das Fahrzeug in Bewegung ist.

Regel-Fahrzeit stellt die Fahrzeit des Idealfalls ohne Behinderung dar. Sie lässt sich fahrdynamisch nach den Eigenschaften des Fahrzeugs und dem Charakter der Strecken berechnen.

Haltezeit ist Teil der Beförderungszeit, in der das Fahrzeug steht.

Regel-Haltezeit wird auch als Haltestellenaufenthaltszeit bezeichnet. Sie umfasst in der Regel die notwendige Fahrgastwechselzeit und die fahrgastunabhängigen Zeitbestandteile der Abfertigungszeit, die wiederum Türöffnungszeit, Türschließzeit, Prüf- und Fertigmeldezeit sowie Reaktionszeit enthält.

Synchronisationszeit bezeichnet den Haltezeitanteil im Fahrplan, der über die Regel-Haltezeit hinaus für die Gewährung der vorgesehenen Anschlüsse zu anderen Verkehrsmitteln eingeplant ist. Dieser Zeitanteil ist deswegen nicht in jedem Umlauf enthalten.

Behinderungszeit ist die Summe der Zeiten, die aufgrund der Behinderung durch den allgemeinen Straßenverkehr - insbesondere durch Verzögerung an den Lichtsignalanlagen - entstehen. Heute sind LSA für einen großen Teil der Behinderungszeit ursächlich. Problematisch ist besonders die große Streuung.

Beförderungszeitzuschläge dienen der gezielten Erhöhung der Beförderungszeit im Fahrplan, um die Auswirkungen der Streuung der Beförderungszeit zu verringern und damit Verspätungen aufzufangen.

Die Fahrzeitzuschläge und die Wendezeit bilden die wichtigsten Zeitreserven für den Ausgleich der Verspätungen und sorgen für den pünktlichen Betrieb.

2.1.3 Fahrgastgruppen

Nach [18] werden die Fahrgäste wie in Tabelle 3 dargestellt in sieben Gruppen unterteilt. Für die Unterteilung werden nicht nur Quelle und Ziel der Fahrgäste sondern auch die Definition der Haltestelle, die Behandlung der Fahrgäste aufgrund des Tarifsystems und die Arten der Verkehrsmittel berücksichtigt. Das führt zu einer feinen aber auch komplizierten Gruppenaufteilung.

FAHRGASTGRUPPEN			
Einsteiger (auch Zusteiger) Aussteiger	Umsteiger	Übersteiger	Systemwechsler
Fahrgast, der an einer beliebigen Station in ein öffentliches Verkehrsmittel ein- oder daraus aussteigt.	Fahrgast, der beim Wechsel eines öffentlichen Verkehrsmittels keine besondere Handlung zu vollziehen braucht.	Fahrgast, der beim Wechsel eines öffentlichen Verkehrsmittels z. B. einen neuen Fahrausweis lösen oder eine andere Zeitkarte vorweisen muss.	Verkehrsteilnehmer, der während seiner Reise das System wechselt (z. B. P&R).
Unterwegszusteiger	Unterwegsum-/-übersteiger	Transitfahrgast	
Fahrgast, der an einer Unterwegsstation in das Anschlussfahrzeug zusteigt.	Fahrgast, der im weiteren Linienverlauf des Anschlussfahrzeugs (nochmals) um-/übersteigen will.	Fahrgast, der an einer Umsteigestation bereits im Anschlussfahrzeug sitzt und weiterfahren möchte.	

Tabelle 3: Fahrgastgruppen [18]

Für die weitere Arbeit hat sich eine vereinfachte Aufteilung als zweckmäßig erwiesen, diese wird in Abschnitt 2.3.2 vorgestellt.

2.1.4 LSA-Beeinflussung für den ÖPNV

Um den ÖPNV zu fördern, wurde im Jahr 1982 das „Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen“ [13] von der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV) veröffentlicht und im Jahr 1999 fortgeschrieben. Im Merkblatt werden zahlreiche Maßnahmen zur Beschleunigung des ÖPNV behandelt. Eine der Maßnahmen ist die Beeinflussung der LSA für den ÖPNV. Das Ziel dieser Maßnahme ist, den Betrag und die Streuung der Behinderungszeit an den signalgesteuerten Knotenpunkten zu senken. In der Politik wird auch oft von ÖV-Bevorrechtigung gesprochen. Das Einsetzen der LSA-Beeinflussungsmaßnahmen unterstützen auch die „Richtlinien für Lichtsignalanlagen“ [40]. Gemäß [40] wird empfohlen, die LSA für den ÖPNV wegen dessen wichtiger Rolle für die Grundversorgung der Städte und dessen hoher Besetzung gegenüber den anderen Verkehrsmitteln zu beeinflussen. Nach Bosserhoff [7] sind die Vorteile vielfältig. Für die Fahrgäste sind die Vorteile überwiegend:

- höhere Attraktivität des ÖPNV wegen kürzerer Reisezeit

- höhere Pünktlichkeit
- bessere Anschlussgewährung
- höhere Verlässlichkeit des ÖPNV

Für die Verkehrsunternehmen zeigen sich die Vorteile hauptsächlich in

- geringerem Bedarf an Fahrzeugen und Fahrpersonal
- höheren Einnahmen wegen erhöhter Attraktivität und Verlässlichkeit des ÖPNV

Für den motorisierten Individualverkehr sind die Vorteile:

- Entlastung des MIV durch eine stärkere Nutzung des ÖPNV
- Profitierung von längeren Freigabezeiten des zur ÖV-Fahrtrichtung verträglichen MIV
- kürzere Wartezeit, wenn eine verkehrsabhängige Steuerung für den MIV mit der ÖV-Bevorrechtigung eingesetzt wird

Für die Allgemeinheit sind die Vorteile überwiegend:

- besserer Umweltschutz mit weniger Lärm und Abgasimmissionen aufgrund einer stärkeren Nutzung des ÖPNV
- höhere Sicherung der Mobilität durch mehr Kapazität für den MIV

Für die nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer weisen Friedrich und Fischer [3] in einer Studie bei einer bedarfsgerechten ÖV-Bevorrechtigung weniger Verlustzeit nach. Erschwernisse in der zeitlichen Orientierung beim Passieren des Knotenpunktes für Radfahrer und Fußgänger traten nur in sehr wenigen Fällen auf. Ein häufig angenommener Nachteil der ÖV-Bevorrechtigung – eine Verlängerung der Verlustzeit – wurde nachgewiesen, ist aber vom konkreten Einsatzfall abhängig und konnte genau wie einige andere nachteilige Vermutungen nicht allgemein bestätigt werden.

Nach “Hinweise zur Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung“ [14] und [7] gibt es grundsätzlich die folgenden Möglichkeiten für die Beeinflussung der LSA:

- Freigabezeitverlängerung

Die bereits geschaltete Freigabezeit wird bis zur Abmeldung des ÖV-Fahrzeugs oder bis zur maximalen Freigabezeit verlängert.

- Sperrzeitverkürzung

  Die bereits geschaltete Freigabe einer mit dem ÖV-Fahrzeug nicht verträglichen Fahrtrichtung wird vorzeitig abgebrochen, damit die Freigabe für das ÖV-Fahrzeug zeitiger gesendet werden kann.

- Phasentausch

  Eine nicht zur Fahrtrichtung des ÖV-Fahrzeugs verträgliche Phase wird mit einer verträglichen Phase unter Beibehaltung der Phasenanzahl und der Umlaufzeit getauscht.

- Bedarfsphasenanforderung

  Die mit der Fahrtrichtung des ÖV-Fahrzeugs verträgliche Phase wird bei Bedarf eingeschoben.

Die Signalsteuerung der LSA-Beeinflussung des ÖPNV ist gemäß [14] nach zwei Arten zu unterscheiden, der absoluten Bevorrechtigung und der bedingten Bevorrechtigung. Die absolute Bevorrechtigung ist die stärkste Form der Einflussnahme und soll dazu führen, dass der ÖPNV keine signalbedingten Verlustzeiten hat. Bei der bedingten Bevorrechtigung werden die Verkehrs- und Umfeldbedingungen beachtet, insbesondere die Anspruche der anderen Verkehrsteilnehmer.

Häufig werden Phasen für den ÖV nur gesendet, wenn sich dieser angemeldet hat. Dann kann es sich um die absolute, bedingte oder gar keine Bevorrechtigung handeln. Im letzten Fall wird die Freigabe an einer fest im Signalzeitplan vorgesehenen Stelle gesendet. Das ist aber keine Bevorrechtigung.

2.1.5 Anschlusssicherung

Die Anschlusssicherung beinhaltet das Eingreifen mit Maßnahmen, damit ein gefährdeter Anschluss zustande kommt. Unterschieden wird die Anschlusssicherung im planmäßigen und im unplanmäßigen Betrieb [18]. In der Praxis sind verschiedene Verfahren gebräuchlich. Traditionell kann der Anschluss über die Kommunikation des Fahrpersonals gesichert

werden. Ab und an werden auch Dritte in die Kommunikation einbezogen. Das können zum Beispiel die Fahrgäste sein. Dieses Verfahren ist für den meist dicht vernetzten und häufig gefahrenen ÖPNV prinzipiell nicht geeignet. Moderne Anschlusssicherung wird durch die in der Regel eingesetzten rechnergestützten Betriebsleitsysteme (RBL) unterstützt ([18] und [29]). Bei planmäßigem Betrieb überwacht das RBL den Fahrtverlauf der Anschlussfahrzeuge und der Anschluss kommt ohne zusätzliche Eingriffe des Systems zustande. Bei unplanmäßigem Betrieb prüft das System das Zustandekommen der Anschlüsse bis zu einer vorgegebenen maximalen Wartezeit. Wenn die prognostizierte Wartezeit unter dem Grenzwert liegt, gewährt das RBL den Anschluss und informiert das Fahrpersonal über die Warteaufforderung. Anderenfalls gibt das System entweder den Anschluss auf oder veranlasst den Disponent zu einem manuellen Eingriff.

2.2 Randbedingungen aus Sicht des ÖPNV

Das zu entwickelnde Verfahren soll die verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen jeder konkreten Fahrt bei der Verkehrssteuerung an der LSA und der Anschlusssicherung berücksichtigen. Deshalb sind zunächst wesentliche verkehrliche und betriebliche Randbedingungen zu behandeln.

2.2.1 Verkehrliche Randbedingungen

2.2.1.1 Anschluss

Der Begriff **Anschluss** im ÖPNV wird sowohl häufig in der Literatur besprochen als auch bei zahlreichen Verkehrsunternehmen für den täglichen Betrieb benutzt. Aber eine einheitliche und genaue Definition ist nicht zu finden. Nach dem Langenscheidts Großwörterbuch [36] wird Anschluss im ÖPNV als „eine öffentliche Verkehrsverbindung, die von einem bestimmten Ort in die gewünschte Richtung weiterführt“ erklärt. Nach Schmidt [43] ist ein Anschluss „eine vordefinierte Beziehung zwischen einem Zubringer und einem Abbringer“. Nach [18] sind Anschlüsse das “räumlich und zeitlich aufeinander abgestimmte Zusammenführen mehrerer Fahrten, bei denen die Fahrgäste ihre Weiterfahrt nach

Zurücklegen erforderlicher Um-/Übersteigewege und entsprechender Um-/Übersteigezeiten innerhalb angemessener anschlussbedingter Wartezeit fortsetzen können."

Anschlüsse können verschieden unterteilt werden. Klemenz [30] hat in Anlehnung an die „Integrationsschnittstelle rechnergestützter Betriebsleitsysteme" von dem Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) [50] drei Arten nach der **Umsteigerichtung** unterscheiden:

- **Einseitige Umsteigebeziehung**:

  Umsteigevorgänge aus dem Zubringer in den Abbringer

- **Beidseitige Umsteigebeziehung**:

  Umsteigevorgänge sowohl aus dem Zubringer in den Abbringer als auch aus dem Abbringer in den Zubringer

- **Mehrfache Umsteigebeziehung**:

  Umsteigevorgänge zwischen mehreren Zu- und Abbringerbeförderungseinheiten

Nach [18] werden die Anschlüsse anhand der **Anschlussqualität** hinsichtlich der Beförderungsdauer und der Fahrzeugfolge in mehrere Stufen von Direktanschluss bis zu kein Anschluss unterteilt. Diese stellt Tabelle 4 dar.

Beförderungs-dauer im Zufüh-rungszug [min.]	**Fahrzeugfolge [min.] des Anschlussbusses**			
	5 bis 10	11 bis 20	21 bis 40	41 bis 120
bis 45	Direktanschluss	noch vertretbarer Anschluss	kein Anschluss	kein Anschluss
46 bis 90	Direktanschluss	noch vertretbarer Anschluss	sehr schlechter Anschluss	kein Anschluss
größer 90	Direktanschluss	guter Anschluss	schlechter Anschluss	sehr schlechter Anschluss

Tabelle 4: Anschlussqualität [18]

Im Linienverlauf eines öffentlichen Verkehrsmittels treten häufig mehrere Anschlüsse auf. Diese besitzen in der Regel eine unterschiedliche verkehrliche Bedeutung. Daher ist es notwendig, die Anschlüsse nach ihrer Wichtigkeit verschieden zuzuordnen.

Einteilungen der Anschlüsse nach unterschiedlicher Bedeutung findet man in der Literatur sehr selten. Günther, R. unterscheidet Anschlüsse, die im Fahrplan vorhanden und geplant sind, von Anschlüssen, die tatsächlich im Betriebsablauf auftreten [24]. Die ausführlichste

Zuordnung der Anschlüsse enthält das Arbeitspapier Nummer 64 von FGSV [18]. Dort werden die Anschlüsse in vier **Kategorien** unterteilt.

Kategorie 1: „**Garantierter Anschluss**“

Ein Anschluss dieser höchsten Kategorie wird unabhängig von einer Störung gehalten oder durch eine Zusatzbeförderung abgesichert.

Kategorie 2: „**Limitierter Anschluss**“

Der Anschluss wird „nur bis zu einer ausgewiesenen Verspätung“ des Zubringers gehalten. Nach dem Fahrplan besitzt dieser Anschluss in der Regel eine „begrenzte“ Wartezeit. Er wird dem Fahrgast im Fahrplan ausgewiesen. Dies beweist zwar eine niedrigere Kategorie, zeigt aber immer noch eine hohe Bedeutung.

Ein Anschlussverlust ist nicht mehr ausgeschlossen und der Fahrgast muss bei einer Störung mit längerer Wartezeit rechnen.

Kategorie 3: „**Vorgesehener Anschluss**“

„Der Anschluss kommt nur im planmäßigen Betrieb zustande. Wegen betrieblicher Zwangsbedingungen kann er bei Verspätung des Zuführungsfahrzeugs nicht gehalten werden.“ Deshalb werden auch keine Anschlusssicherungsmaßnahmen bei unplanmäßigem Betrieb geplant.

Kategorie 4: „**Nicht vorgesehener Anschluss**“

Anschlüsse dieser Kategorie sind Anschlüsse mit so kurzer Übergangszeit, dass sie nur bei Verspätung des Abbringers erreicht werden können.

Die Merkmale der vier Anschlusskategorien werden in Tabelle 5 dargestellt.

Merkmal	Anschlusskategorie			
	1	2	3	4
Anschluss vorgeplant	ja	ja	nein	nein
Anschluss vorgesehen	ja	ja	ja	nein
Anschluss unterliegt einem Anschluss- (sicherungs) konzept	ja	ja	nein	nein
Anschluss kommt im planmäßigen Betrieb zustande	ja	ja	ja	nein
Anschluss kommt nur bei Verspätung des Abbringers zustande	nein	nein	nein	ja
Anschluss wird in Fahrplan ausgewiesen	ja	ja	nein	nein
Anschluss wird dem Fahrpersonal mitgeteilt	ja	ja	nein	nein

Tabelle 5: Merkmale der Anschlusskategorien nach [18]

2.2.1.2 Synchronisationszeit

Die Synchronisationszeit stellt einen notwendigen Zeitanteil in der Umlaufzeit dar, mit dem die fahrplanbedingte Wartezeit des Abbringers für einen vorgesehenen Anschluss ausgeglichen und der Anschluss gesichert werden kann. Sie vermeidet zwar die Abweichung zum Soll-Fahrplan im weiteren Fahrtverlauf, führt aber zu einer längeren Umlaufzeit, was einen höheren Fahrzeugbedarf bedingen kann. Abbildung 2 zeigt das Entstehen einer Synchronisationszeit [5].

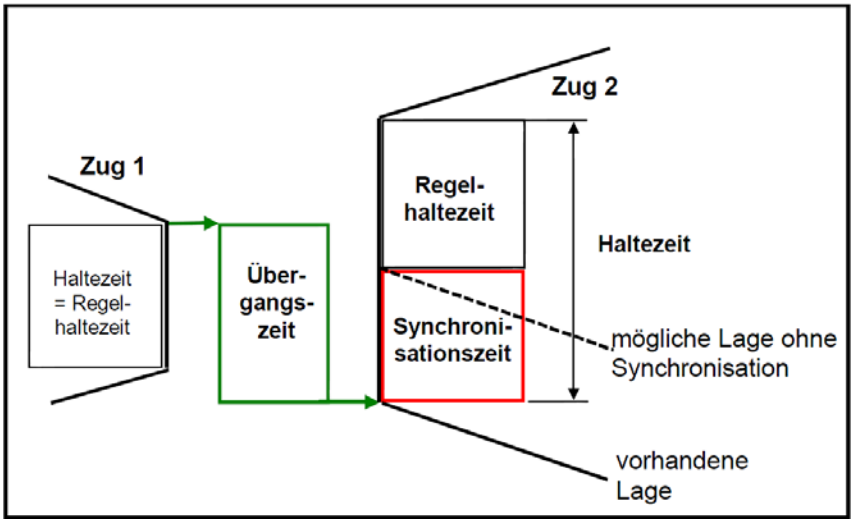


Abbildung 2: Entstehen einer Synchronisationszeit [5]

Die Synchronisationszeit lässt sich durch Verschieben der Fahrlagen des Zu- und Abbringers reduzieren oder ganz vermeiden. Dies ist aber bei einem dicht vermaschten Netz mit geringer Zugfolgezeit nahezu nicht realisierbar.

Nach Zistel [52] kommen Synchronisationszeiten häufig im Spät-, Nacht- und Wochenendfrühverkehr des städtischen öffentlichen Personenverkehrs zum Einsatz, da das Verkehrsangebot dann stark anschlussorientiert ist.

2.2.2 Betriebliche Randbedingungen

2.2.2.1 Fahrplanlage

Die Fahrplanlage zeigt die Abweichung zum Soll-Fahrplan und lässt sich mathematisch über die Differenz zwischen Ist-Fahrplan $t_{Fp,Ist}$ und Soll-Fahrpan $t_{Fp,Soll}$ bilden.

$$t_{Fpl} = t_{Fp,Ist} - t_{Fp,Soll} \qquad \text{(Formel 2-1)}$$

t_{Fpl}	Fahrplanlage eines öffentlichen Verkehrsmittels	[s]
$t_{Fp,Ist}$	Ist-Fahrplan eines öffentlichen Verkehrsmittels	[hh:mm:ss]
$t_{Fp,soll}$	Soll-Fahrplan eines öffentlichen Verkehrsmittels	[hh:mm:ss]

Wenn das Verkehrsmittel zu früh ist, dann ist die Fahrplanlage kleiner als Null. Bei Verspätung nimmt sie einen positiven Wert an.

2.2.2.2 Pünktlichkeit

Die Pünktlichkeit stellt eine der wichtigsten Kenngrößen des Betriebs dar. Sie lässt sich über die Fahrplanlage widerspiegeln. Die Pünktlichkeit wird in der Regel in drei Bereiche unterteilt:

- verfrühter Bereich
- pünktlicher Bereich
- verspäteter Bereich

Viele Unternehmen bewerten ihre Angebote anhand der Pünktlichkeit. Einige geben den Kunden sogar eine Pünktlichkeitsgarantie. Für die Kunden ist die Pünktlichkeit sehr wichtig, insbesondere, wenn wegen eines Termins oder eines Anschlusses eine vorgegebene Ankunftszeit erreicht werden muss. Das bestätigen zahlreiche Dokumente wie [19], [9] und [18]. Eine Fahrgastbefragung der Universität Greifswald [44] zeigt nicht nur, dass die Pünktlichkeit eines der wichtigsten Kriterien der Fahrgäste für guten oder schlechten Personennahverkehr ist, sie bestätigt auch, dass für die meisten Kunden das nicht zu früh Losfahren und das Vermeiden von Verspätungen sehr wichtig sind.

Eine höhere Pünktlichkeit verbessert die Verlässlichkeit [18]. Die Pünktlichkeit stellt eine der wichtigsten Kenngrößen der zu entwickelnden Verfahren dar.

2.2.2.3 Wendezeit

Verspätungen wirken sich auf die Stabilität des Betriebs negativ aus. Die Wendezeit dient dem Abbau von Verspätungen an. Sie bildet zeitlich die Differenz vom Beginn einer Fahrt zum Ende der letzten Fahrt eines Fahrzeugs an der Endstelle. Nach Rüger [41] hat die Wendezeit insgesamt drei Aufgaben:

- „Ausgleich von Verspätungen“
- „Fertigmachen des Zuges für die neue Fahrt“
- „Befriedigung persönlicher Bedürfnisse des Fahrpersonals“

Als Grundlage für das Erstellen eines Fahr- und Wagenlaufplanes lässt sich die Mindestwendezeit nach Rüger über Formel (2-2) oder vereinfachend überschläglich über Formel (2-3) beschreiben.

$$t_{Wen,u,min} = -(t_{f,u}^2/2880) + (t_{f,u}/6) + 2 \qquad \text{Formel (2-2)}$$

$$t_{Wen,u,min} = t_{f,u}/6 \qquad \text{Formel (2-3)}$$

$t_{Wen,u,min}$	Mindestwendezeit im Umlauf	[min]
$t_{f,u}$	Beförderungszeit im Umlauf	[min]

Aufgrund der neuen gesetzlichen sowie auch betrieblichen Entwicklungen wurde eine zeitgemäße Bemessungsvorschrift für die Wendezeit von Zistel untersucht, in der die Zeitbestandteile der Wendezeit neu definiert wurden [52]. Danach wird die Wendezeit in der Folgeform mit drei Zeitbestandteilen dargestellt.

$$t_{Wen} = t_{Wen,Qualitativ} + t_{Wen,Techno} + t_{Wen,Human} \qquad \text{Formel (2-4)}$$

Die Wendezeit erfüllt damit die folgenden drei Aufgaben:

- qualitative Aufgabe - Abbau von Verspätungen
- technologische Aufgabe - Kontrolle und Fertigstellung des Fahrzeuges, Vorrückfahrten und Rangierfahrten
- humane Aufgabe - Gewähren der persönlichen Bedürfnisse und Pausen

2.2.2.4 Beförderungszeitzuschlag

Behinderungen durch den Individualverkehr und durch Lichtsignalanlagen, schwankende Fahrgastströme sowie ein unterschiedliches Fahrverhalten der einzelnen Mitarbeiter führen letztlich für jedes einzelne Fahrzeug des ÖPNV zu einer individuellen Beförderungszeit. Damit ist die Beförderungszeit eine Zufallsgröße. Sie wird im Fahrplan durch einen repräsentativen Wert abgebildet, der über der Summe aus Mindestfahr- und -haltezeit liegt.

Die Differenz zwischen der dem Fahrplan zugrundeliegenden Beförderungszeit und den Mindestwerten der Fahr- und Haltezeiten ist der Beförderungszeitzuschlag. Er wird in der Praxis auch als Fahrzeitzuschlag bezeichnet und dient letztlich dem Ausgleich der Schwankungen der Fahr- und Haltezeit. Behinderungszeiten, die bei jeder Fahrt in der gleichen Höhe auftreten, werden in der Praxis auch den Mindestwerten der Fahr- und Haltezeiten zugeordnet.

Theoretisch lassen sich die Beförderungszeitzuschläge über Stichproben durch Messungen rechnerisch ermitteln. In der Praxis des öffentlichen Nahverkehrs ist es aber üblich, die Werte abzuschätzen oder die Beförderungszeit ständig über Messwerte anzupassen. Ein typisches Beispiel ist die Anwendung von unterschiedlichen Beförderungszeitklassen. Dadurch wird die Schwankung der Beförderungszeit im Fahrplan näherungsweise berücksichtigt.

2.2.2.5 Pausenregelungen

In der Verordnung (VO) (EG) 561/2006 [51], dem Arbeitszeitgesetz (ArbZG) [1] und der Verordnung zur Durchführung des Fahrpersonalgesetzes (FPersV) [21] wurden rechtliche Vorschriften für die Ruhepausen und Lenkzeitunterbrechungen der Fahrbediensteten des städtischen ÖPNV geregelt.

Nach diesen rechtlichen Regelungen finden in der Praxis zwei Pausenmöglichkeiten Einsatz, Blockpausenregelung und Sechstel-Regelung. Die Blockpause bezeichnet eine längere Pause. Die Sechstel-Regelung bedeutet, dass die Pause auch in mehrere Abschnitte unterteilt werden kann, wenn deren Gesamtdauer mindestens ein Sechstel der vorgesehenen Beförderungszeit beträgt. Pausen unter 8 Minuten werden nicht berücksichtigt.

In der Regel werden die Wendezeiten für derartige Pausenabschnitte genutzt. In jedem Fall ist die Pause vollständig zu gewähren. Ausnahmen gemäß §14 ArbZG sind lediglich in besonderen Fällen zulässig. Das sind außergewöhnliche Ereignisse, beispielsweise Unfälle, nicht aber Verspätungen.

2.2.2.6 Personalwechsel

Wenn eine Blockpause zu gewährleisten ist und die Weiterfahrt im Linienverkehr nicht unterbrochen wird, ist im Dienstplan ein Personalwechsel anzuordnen. Der Personalwechsel passiert auch bei Fahrzeug- oder Schichtwechsel.

Ein Personalwechsel wird in den Dienstplan integriert und ist dem Fahrpersonal bekannt. Der Personalwechsel findet in der Regel an einer Zwischenhaltestelle oder an der Endstelle statt. Ein planmäßiger Personalwechsel sichert einerseits die pünktliche Weiterfahrt des Zuges und spart andererseits den Aufwand für zusätzliche Arbeitszeit wegen Verspätung.

2.2.2.7 Taktzeit und Zugfolgezeit

Im städtischen öffentlichen Personennahverkehr wird der Linienverkehr fast ausschließlich im Takt gefahren. Die Taktzeit ist also der zeitliche Abstand zwischen zwei Zügen einer Linie. Verkehren auf einem Streckenabschnitt mehrere Linien, ist die Zugfolgezeit der Zeitabstand zwischen zwei aufeinander folgenden Zügen.

Wesentlicher Vorteil des Taktverkehrs für die Fahrgäste ist der leicht merkbare Fahrplan. Aus Sicht des Verkehrsunternehmens gewährleistet die einheitliche Zugfolgezeit eine gleichmäßige Besetzung des Fahrzeuges. Je gleichmäßiger der Takt eingehalten werden kann, desto geringere Platzreserven müssen eingeplant werden. Das gestaltet einen wirtschaftlicheren und energieeffizienteren Betrieb.

Im unplanmäßigen Betrieb kann die Taktzeit nicht eingehalten werden. Verspätete Fahrzeuge weisen dann eine höhere Besetzung aus. Ein folgendes pünktliches Fahrzeug ist nur gering ausgelastet. Im weiteren Streckenverlauf wird das stärker besetzte und verspätete Fahrzeug weiter verspätet und noch stärker besetzt. Das Folgende wird noch geringer

beansprucht und droht das vor ihm verkehrende Fahrzeug einzuholen. Dann sinkt die Betriebsqualität erheblich [16]. Die Zusammenhänge veranschaulicht Abbildung 3.

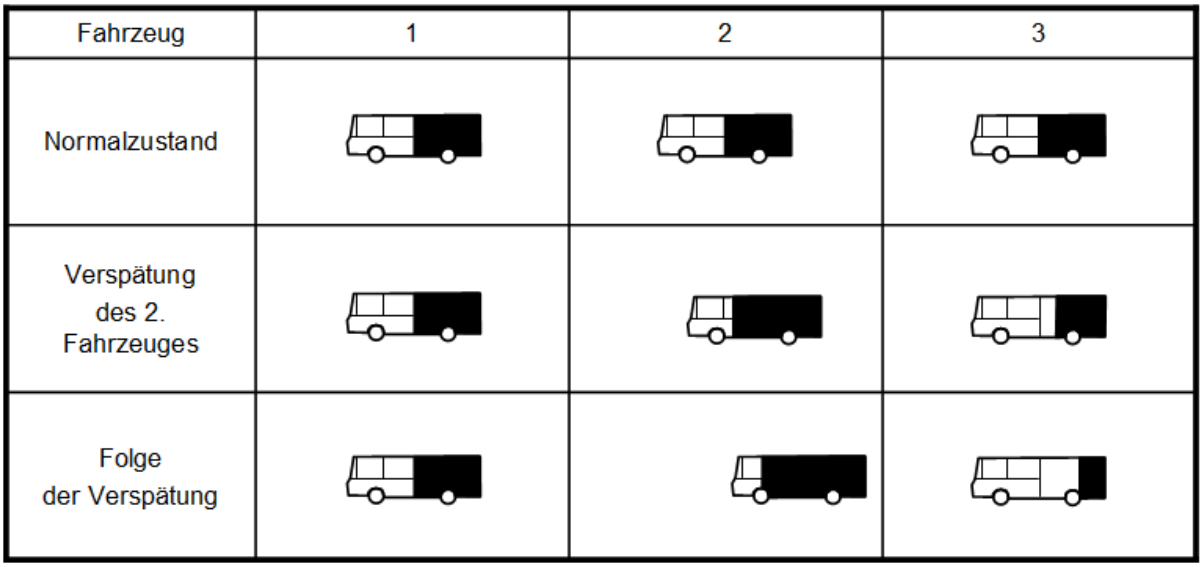


Abbildung 3: Auswirkung von Verspätungen einzelner Fahrzeuge auf den Besetzungsgrad und damit auf die Zugfolgezeit [16]

2.3 Problemdarstellung

2.3.1 LSA-Beeinflussung

Das Beeinflussen von LSA durch öffentliche Verkehrsmittel ist mittlerweile Standard in deutschen und ausländischen Städten. Trotzdem verursachen Lichtsignalanlagen die meisten Verspätungen im ÖPNV, von außergewöhnlichen Ereignissen abgesehen. Eine Untersuchung von Hoffmann [26] bestätigt, dass „66% der Verlustzeit im ÖPNV auf Einflüsse von Lichtsignalanlagen zurückzuführen sind“. Nach Rüger [41] bildet die Verlustzeit an signalgeregelten Knotenpunkten die größte Behinderung für den straßengebundenen ÖPNV. Das bestätigt auch das Untersuchungsergebnis durch Bauer [6], in der die Maßnahmen zum Beschleunigen und Stabilisieren einer der wichtigsten tangentialen Buslinien in Dresden untersucht wurden. Aus der Arbeit ergibt sich, dass die Behinderungszeiten vor LSA an vielen Knotenpunkten durchschnittlich deutlich über 30 Sekunden liegen. Das bestätigt das Studienergebnis der DVB AG, nach dem die Verkehrsmittel der DVB AG netzweit allein an LSA „im Mittel 13 Minuten Verlustzeit pro Umlauf abstehen“ müssen, an einigen Knoten nur

die schlechteste Qualitätsstufe F erreicht werden kann [27], was nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen [20] im Mittel mehr als 60 Sekunden Verlustzeit entspricht.

Seyfarth hat die möglichen Zugfolgefälle auf einer der wichtigsten Straßenbahntrassen – der Nord-Südverbindung in Dresden – aus verkehrlicher und betrieblicher Sicht untersucht [45]. Das Ergebnis zeigt:

- Die Streuung der Fahrzeit ist (aufgrund der zuverlässigen und ausreichend dimensionierten Antriebstechnik) sehr klein.
- Die Verlustzeiten an LSA verursachen maßgeblich Unplanmäßigkeiten und wirken sich auf den Fahrtverlauf aus.

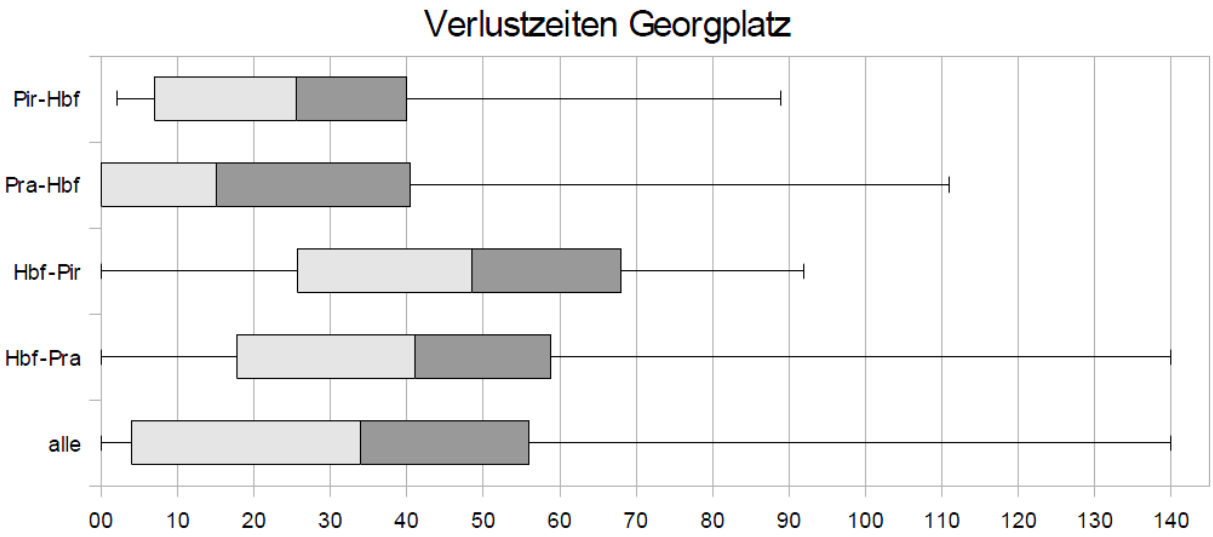


Abbildung 4: Verlustzeit an Lichtsignalanlagen am Georgplatz auf der Nord-Süd-Verbindung in Dresden [45]

Zusammengefasst bestehen nachstehende Probleme:

- Sehr viele Lichtsignalanlagen beeinflussen die Pünktlichkeit und verursachen oft Behinderungszeiten mit großer Streuung.
- Bei der Planung der Fahr- und Wagenlaufpläne sind größere Beförderungszeitzuschläge und Wendezeiten nötig. Ein größerer Fahrzeug- und Fahrpersonalbedarf sind die Folge.

- Eine unregelmäßige Zugfolgezeit verursacht eine unterschiedliche Besetzung der Fahrzeuge. Das führt zu unwirtschaftlichen Platzreserven und damit zu einem überhöhten Fahrzeug-, Personal- und Energiebedarf.

Diese Probleme verursachen Unzufriedenheit für die Kunden und geringere Einnahmen sowie höhere Ausgaben für die Unternehmen.

2.3.2 Anschlusssicherung

Ausgehend von [18] werden die Fahrgäste hinsichtlich ihrer Quelle-Ziel-Beziehung zum betrachteten Fahrzeug in vier Gruppen unterteilt.

Fahrgastgruppen			
Einsteigende	Aussteigende	Umsteigende	Weiterfahrende
Fahrgäste, die an den nächsten Haltestellen warten und einsteigen wollen.	Fahrgäste, die an der nächsten Haltestelle aussteigen möchten und Ihre Reise beenden.	Fahrgäste, die an der nächsten Haltestelle aussteigen und dort unmittelbar umsteigen möchten.	Fahrgäste, die an der nächsten Haltestelle nicht aussteigen und weiterfahren wollen.

Tabelle 6: Unterteilung der Fahrgastgruppen [18]

Da die Fahrgäste der vier Gruppen in der Regel gleichzeitig dieselbe Fahrt benutzen, gibt es zwischen ihnen aus Sicht der Anschlusssicherung Zielkonflikte:

- Für die weiterfahrenden Fahrgäste des Abbringers ist ein zusätzliches Warten aufgrund der Anschlusssicherung nicht gewünscht und eine pünktliche Ankunft an ihrem Reiseziel das Wichtigste.
- Für die umsteigenden Fahrgäste ist die pünktliche Fahrt wichtig, aber das Erreichen des Anschlusses mit kürzerer Übergangszeit noch wichtiger.
- Für die aussteigenden und einsteigenden Fahrgäste sind die pünktliche Ankunft und Abfahrt wichtig.

Aber die Rolle der Fahrgäste ändert sich im Reiseverlauf. Beispielsweise kann ein momentan weiterfahrender Fahrgast an einem späteren Halt der umsteigende Fahrgast sein. Umgekehrt kann ein umsteigender Fahrgast nach seinem Umsteigen anderen

Fahrgastgruppen angehören. Das heißt, dass jede Fahrgastgruppe unterschiedliche Wünsche und Erwartungen hat und sich diese im Reiseverlauf ändern können. Allgemein ist aber die pünktliche Fahrt für alle Gruppen wichtig.

Gegenwärtig wird die Anschlusssicherung in der Praxis oft von einem RBL-System überwacht. Eine Anschlusssicherung über das RBL-System weist damit folgende Mängel auf [29]:

- Es können in der Regel nur wichtige vorgesehene Anschlüsse einbezogen werden.
- Das manuelle Eingreifen durch den Disponenten belastet die Betriebszentrale mit steigender Anzahl zu überwachender Anschlüsse oder bei Auftreten anderer Störungen. Außerdem fordert die Entscheidung des Disponenten vielfältige Kenntnisse und Erfahrungen.

Aus Sicht des Autors können allein über die vorgegebene maximale Wartezeit nicht alle aktuellen verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen berücksichtigt werden, die die Betriebsstabilität beeinflussen können.

Trotz der Fortschritte bei den Komponenten zur Anschlusssicherung im RBL in den letzten Jahren ist eine fahrtkonkrete Anschlusssicherung wünschenswert.

2.3.3 Schlussfolgerungen

Die angeführten Probleme der LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung zeigen, dass eine fahrtkonkrete LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung notwendig ist, worauf erstmalig verweist [31]. Lichtsignalanlagen stellen inzwischen die größte Quelle von Behinderungen öffentlicher Nahverkehrsmittel dar. Sowohl die großen Absolutwerte als auch die großen Streuungen der Behinderungszeiten beeinflussen die Pünktlichkeit erheblich und erfordern beträchtliche Beförderungszeitzuschläge und überhöhte Wendezeiten. Diese führen zu Zusatzkosten für die Nahverkehrsunternehmen und Qualitätseinbußen für die Kunden. Die Verkehrsunternehmen wirken dem in der Regel durch Vorrangschaltungen für ihre Verkehrsmittel entgegen. Diese vermögen zwar die Absolutwerte der Behinderungszeit zu senken, die für die Pünktlichkeit wesentliche Streuung der Behinderungszeiten verringern sie jedoch nur unzureichend, da sie die konkreten Randbedingungen der Fahrt - insbesondere ihre Pünktlichkeit - in aller Regel nicht berücksichtigen. Muss umgestiegen

werden, können Verspätungen zu Anschlussverlust führen und damit die Wirkungen - besonders bei großen Zugfolgezeiten - für die Kunden potenzieren.

Deshalb ist es sinnvoll, von einer pauschalen LSA-Beeinflussung durch öffentliche Verkehrsmittel zu einer bedarfsgerechten überzugehen und damit zu einem fahrtkonkreten Beeinflussen von Lichtsignalanlagen. Das erfordert das Zusammenwirken der Steuerung der Lichtsignalanlagen mit den Leitsystemen sowohl des allgemeinen Straßenverkehrs als auch des ÖPNV [33]. So kann vermieden werden, dass ein zu frühes Verkehrsmittel genauso wie ein zu spätes und ein fast leeres so wie ein überfülltes behandelt wird, und gleichzeitig die Situation für den allgemeinen Straßenverkehr berücksichtigt werden [37].

Eine wesentliche Verbesserung der Pünktlichkeit stellt darüber hinaus eine wichtige Voraussetzung zum Verbessern der Anschlusssicherung dar. Dennoch können Anschlüsse knapp verfehlt werden. Ein bedarfsgerechtes Schalten entscheidender Lichtsignalanlagen könnte dem entgegen wirken [32].

Sowohl für ein fahrtkonkretes Beeinflussen von Lichtsignalanlagen als auch zum Sichern von Anschlüssen - beispielsweise durch bedarfsgerechtes Schalten entscheidender Lichtsignalanlagen - müssen die Randbedingungen des öffentlichen Verkehrs erfasst und aufbereitet werden. Das soll nachfolgend geschehen.

3 Stand der Wissenschaft und Praxisanwendung

Bevor das Verfahren zum Ermitteln von Prioritätsstufen zur fahrtkonkreten Beeinflussung von Lichtsignalanlagen und zur Anschlusssicherung entwickelt wird, werden die vorhandenen Regelwerke recherchiert und der Stand der Forschung untersucht. Da LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung in sehr vielen Verkehrsunternehmen angewandt werden, spiegelt die Praxisanwendung den Stand der Entwicklung im Wesentlichen wider. Deshalb wird der Stand der Praxisanwendung über eine umfangreiche Unternehmensbefragung analysiert.

3.1 Regelwerke

Die gültigen Regelwerke werden im Wesentlichen durch den Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV) und die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) herausgegeben.

3.1.1 LSA-Beeinflussung

- „Hinweise zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung“ [14]

Das Regelwerk von FGSV gilt derzeit als wichtige Ergänzung und Vertiefung der Merkblätter für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen vom Jahr 1983 [12] und 1999 [16]. In ihm werden die Begriffe absolute und bedingte ÖPNV-Bevorrechtigung definiert. Außerdem wird bedarfsgerechte Bedienung des ÖPNV angesprochen. Allerdings beschränkt sich der Begriff bedarfsgerechte Bedienung nur auf eine richtungsbezogene Signalfreischaltung für den ÖPNV, was im Sinne dieser Arbeit noch keine echte bedarfsgerechte LSA-Beeinflussung des ÖPNV ist.

- **„Verkehrsabhängige Steuerung an Knotenpunkt“ [15]**

Im Jahr 1994 wurde eine Zusammenfassung der Vorträge eines FGSV-Kolloquiums zum genannten Thema aus dem gleichen Jahr veröffentlicht. In dem Kolloquium wurden die neuen Forschungsergebnisse zur Entwicklung und Anwendung verkehrsabhängiger Steuerungen an Knotenpunkten vorgestellt. Es ist zu erkennen, dass die LSA-Beeinflussung für den ÖPNV immer mehr an Bedeutung bei der LSA-Steuerung erlangen sollte. Die Idee, verkehrliche und betriebliche Randbedingungen des ÖPNV zu berücksichtigen, war noch nicht reif und erschien erst 5 Jahr später in „Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen“ [16].

- **„Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen“ [16]**

Das Regelwerk wurde von der FGSV 1982 [12] erstmals veröffentlicht und im Jahr 1999 durch die neue Ausgabe ersetzt. In der Ausgabe von 1999 erfolgt eine ausführliche Vorstellung der Störquellen des Betriebs und der Maßnahmen zur ihrer Beseitigung. Insbesondere werden die Möglichkeiten der LSA-Beeinflussung zur Bevorrechtigung des ÖPNV erläutert. Sie werden überwiegend aus signaltechnischer Sicht abgeleitet (siehe Kapitel 2.1.4). Zwar erfolgt der Hinweis, dass die konkurrierenden ÖPNV-Anforderungen und betrieblichen Einflussgrößen besonders betrachtet werden sollen, konkrete Maßnahmen werden aber nicht vorgestellt. Es wird im Regelwerk gefordert, dass die Freigabeeinschaltungen für den ÖPNV dem tatsächlichen Bedarf entsprechen und die restriktiven Wirkungen für die anderen Verkehrsströme beschränkt werden sollen. Als Beispiel für betriebliche Einflussgrößen werden Fahrplanlage, Anschlusssicherung und Steigungsstrecken genannt.

- **„Richtlinien für Lichtsignalanlagen - RiLSA“ [40]**

Das im Jahr 1992 erschienene und im Jahr 2010 letztmalig überarbeitete Regelwerk ist eines der wichtigsten technischen Regelwerke und enthält Vorgaben und Empfehlungen für die Planung und den Betrieb der Lichtsignalanlagen. Die LSA-Beeinflussung für den ÖPNV wird zwar in einigen Kapiteln behandelt, ist aber nicht Schwerpunkt des Werkes. Deswegen wird eine fahrtkonkrete Betrachtung der Randbedingungen des ÖPNV nicht vorgefunden.

3.1.2 Anschlusssicherung

- „Integrationsschnittstelle Rechnergestützter Betriebsleitsysteme“ [50]

Das im Jahr 2004 erschienene Regelwerk von VDV verfolgt das Ziel, eine allgemein gültige Schnittstelle zur Kopplung von RBL-Systemen unterschiedlicher Verkehrsunternehmen und Hersteller zu schaffen. Einzelne Verkehrsunternehmen und mehrere Hersteller von Komponenten für RBL-Systeme hatten Hard- und Software entwickelt, die untereinander nicht kompatibel waren.

Das technische Regelwerk ist nicht für das Vorstellen konkreter Anschlusssicherungsmaßnahmen vorgesehen. In dem Werk werden aber Begriffe zum Anschluss, wie Anschlussarten und Anschlussbereich, vorgestellt. Danach gibt es drei Anschlussarten: Zubringer-Abbringer-Anschluss, Blockanschluss und Mehrfachanschluss. Bei dem Zubringer-Abbringer-Anschluss sind nur zwei Verkehrsmittel an dem Anschluss beteiligt und auch nur als Zu- oder Abbringer. Bei den anderen zwei Anschlussarten ist der Zubringer gleichzeitig der Abbringer. Der Unterschied zwischen beiden ist, dass bei Blockanschluss der Zu- und Abbringer einen gemeinsamen Aufenthalt haben, bei Mehrfachanschluss aber nicht. Anschlussbereiche bezeichnen nach dem Regelwerk den Bereich, in dem Anschlüsse zustande kommen. Im einfachsten Fall besteht ein Anschlussbereich aus zwei Haltestellen – einer Zubringerhaltestelle und einer Abbringerhaltestelle. Im komplizierten Fall können mehrere Zu- und/oder Abbringerhaltestellen einem Anschlussbereich zugeordnet werden.

- „Verlässliche Bedienung im öffentlichen Personenverkehr – Empfehlungen zur Vermeidung von Verspätungen, Anschlussverlusten und deren Auswirkungen“ [18]

Das Arbeitspapier stellt in sechs Abschnitten wichtige Grundlagen für die Anschlussplanung und -sicherung vor. Zunächst werden allgemeine Grundsätze zum Thema Anschluss erläutert. Der zweite Abschnitt behandelt die Anschlussplanung und -sicherung. Zuerst werden betriebsinterne und -externe Störquellen vorgestellt. Wesentliche interne Störquellen sind ein unrealistischer Fahrplan mit zu kurzer Fahr- und Fahrgastwechsel- oder Wendezeit, eine ungünstige Infrastruktur und Ausstattung von Fahrweg und Fahrzeug sowie Faktoren aus verkehrsplanerischer Sicht wie mangelhafte Linien- oder Wagenlaufplanung. Als wesentliche externe Störquellen werden Knotenpunkte ohne und mit LSA, Unfälle, Baumaßnahmen und Witterung genannt. Darüber hinaus erfolgt eine Darstellung der

operativen Maßnahmen zur Anschlussbehandlung im planmäßigen Betrieb und im Störungsfall. Es werden allgemeine und strategische Maßnahmen entwickelt. Insgesamt Zehn Strategiemaßnahmen sind enthalten. Dazu zählen Forderungen zu getrennter Betrachtung der Pünktlichkeit und der Anschlussgewährung oder zum Einsatz von Zusatzfahrten. In den weiteren vier Abschnitten werden Themen zur Technikentwicklung, zum Recht, zur Gestaltung von Haltestellen oder Knotenpunkten sowie zum Mobilitätsmanagement behandelt.

Das Arbeitspapier schafft eine Übersicht über die Probleme und operativen Maßnahmen der Anschlussplanung und –sicherung und gibt wichtige Handlungsvorschläge für die Praxis. Es bildet eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung der theoretischen Lösungsansätze.

3.2 Stand der Forschung

3.2.1 Verfahren zur LSA-Beeinflussung

Im Rahmen einer Studie von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) wurden zahlreiche Forschungen zum Thema LSA-Steuerung in den letzten Jahrzehnten sowohl in Deutschland als auch weltweit in anderen europäischen Ländern sowie in den USA und Japan durchgeführt [4]. Zur ÖPNV-Bevorrechtigung unter konkreten Randbedingungen sind aber nur wenige Beiträge erschienen. Hinsichtlich der Auswirkungen der ÖV-Bevorrechtigung an LSA auf die Qualität des Verkehrsablaufs wird von Friedrich und Fischer [3] empfohlen, die Bevorrechtigung anhand der Verlustzeit des ÖPNV vor der LSA stufenweise vorzunehmen und zwischen absoluter und bedingter Bevorrechtigung zu unterscheiden. Eine andere Strategie wurde von Pitzinger [39] vorgeschlagen, und zwar die Priorität der ÖPNV-Bevorrechtigung nach dem Besetzungsgrad zu bestimmen, damit die Gesamtverlustzeit aller Personen, die den Knotenpunkt passieren, minimal ist. Eine ähnliche Überlegung, Verlustzeiten als Bewertungskriterium zu verwenden, hat Brenner im Jahr 1980 vorgestellt. Er empfiehlt, bei der Steuerung des Individualverkehrs und des öffentlichen Personenverkehrs unter Berücksichtigung der personenbezogenen Gesamtwartezeit zu entscheiden [8].

Im Jahr 2008 wurde ein Forschungsprojekt des Freistaates Bayern mit Beteiligung der Technischen Universität München abgeschlossen. Das Ziel des Projektes war, Maßnahmen

zur effizienten Nutzung der Infrastruktur zu entwickeln. Im Teilprojekt „Dynamische Grüne Welle“ wurde die Grüne Welle unter Betrachtung der ÖPNV-Priorisierung mit unterschiedlichen Stufen untersucht [49]. Mit den Priorisierungsstufen werden allerdings unterschiedliche Szenarien gemeint, in denen die ÖPNV-Priorisierung mit den örtlichen Randbedingungen des Verkehrs kombiniert wurden:

- Szenario 1: Ohne ÖPNV-Priorisierung
- Szenario 2: Mit ÖPNV-Priorisierung in Hauptrichtung entlang der dynamischen Grünen Welle
- Szenario 3: Mit ÖPNV-Priorisierung in Hauptrichtung zuzüglich einer links einbiegenden Buslinie, die die dynamische Grüne Welle in Hauptrichtung ggf. stört.

3.2.2 Verfahren zur Anschlusssicherung

Aufgrund des neuen zentralen Omnibusbahnhofs am Rüsselsheimer Bahnhof im Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) wurde ein Konzept zur Anschlusssicherung entwickelt [25]. Nach dem Konzept werden die Anschlüsse bei kurzen Wartezeiten weitgehend automatisch gesichert, bei mittleren Wartezeiten von Disponenten behandelt und bei großen Wartezeiten automatisch aufgegeben. Ein ähnliches Verfahren, bei dem die Anschlüsse bei einer Wartezeit unter einem vorgegebenen Maximum vom System gesteuert und darüber hinaus durch den Disponenten manuell angeordnet werden können, wird von Schmidt [43] vorgestellt.

Kindinger [29] hat im Rahmen seiner Dissertation ein Simulationsmodell zur Planung und Steuerung von zulässigen Betriebsabläufen mit Anschlusssicherung an Bushaltestellen entwickelt. Genannte Einflussfaktoren auf den Betriebsablauf an Bushaltestellen sind:

- die infrastrukturellen insbesondere baulichen Gegebenheiten
- der Fahrplan und die Fahrplanabweichungen
- das Fahrgastaufkommen
- die Dienstanweisungen
- die Anschlüsse und die betrieblichen Verfahren zur Anschlusssicherung

Die betrieblichen Verfahren zur Anschlusssicherung sind identisch mit den Maßnahmen der RBL-unterstützten Anschlusssicherung (siehe Kapitel 2.1.5). Das Simulationsmodell ist ein Drei-Phasen-Modell und simuliert den Ankunfts-, Aufenthalts- und Abfahrtsprozess. Nach dem RBL-unterstützten Anschlusssicherungsverfahren werden sechs Entscheidungsfälle der Anschlusssicherung durch die Simulation abgeleitet:

- Anschluss erfolgt
- Anschluss erfolgt nicht
- Anschluss wird vorzeitig automatisch aufgegeben
- Anschluss wird nach Wartezeit automatisch aufgegeben
- Anschluss wird manuell aufgegeben
- Anschluss wird manuell gesichert

Im Rahmen des von mehreren Forschungspartnern (DB Netz AG, RWTH Aachen, TU Dresden, Universität Göttingen) durchgeführten Projektes Diskon (Dispositions- und Konfliktmanagement) wurde ein Dispositionsassistenzsystem entwickelt. Mit Hilfe des Systems soll im Echtzeitbetrieb des Eisenbahnverkehrs der Dispositionsfahrplan hinsichtlich der minimalen Verspätung der Fahrgäste optimiert werden. Diskon hat zwei Bestandteile ASDIS/L (Asynchrone Disposition) und ANDI/L (Anschlussdisposition). Während in ASDIS/L die Belegungskonflikte der Disposition mikroskopisch untersucht werden, werden in ANDI/L Lösungen für die Anschlusskonflikte der Disposition makroskopisch gesucht. Dazu wird die Anschlusssituation auf zwei Ebenen betrachtet, der lokalen Ebenen an interessanten Haltepunkten und der netzweiten Ebenen. Über das Sichern oder Auflösen der Anschlüsse wird anhand des Auswertungskriteriums Kosten der Fahrgäste entschieden. Die Kosten werden für beide Entscheidungsfälle berechnet. Für das Auflösen des Anschlusses entstehen die Kosten durch zusätzliche Wartezeit der Reisenden mit lokalem Anschlussverlust, anderenfalls durch eine große Anzahl geringfügig verspäteter Reisender im Netz sowie möglicherweise weitere Anschlussverluste. Dieser Vergleich wird sowohl auf der lokalen Ebene als auch auf der netzweiten Ebene durchgeführt. Die Entscheidung fällt anhand der minimalen Kosten. Die Anschlüsse werden in ANDI/L überwiegend aus Sicht der Fahrgäste geprüft. Die Auswirkungen der Anschlussgewährung aus betrieblicher Sicht, insbesondere hinsichtlich der Stabilität des Betriebs, werden nicht betrachtet [34].

Klemenz hat ein Verfahren zur optimierten fahrgastabhängigen Anschlussplanung entwickelt [30]. Mit Hilfe der Arbeit soll der Entscheidungsprozess für die geplanten oder nicht

geplanten Anschlüsse unter Betrachtung der minimalen Reisezeiten aller betroffenen Fahrgäste optimiert werden. Die dazu benötigten Fahrgastzahlen werden nach einem in der Arbeit vorgestellten Verfahren ermittelt, welches die Kenntnis der Quelle-Ziel-Beziehungen der Fahrgäste erfordert. Das Prüfen der Anschlüsse wird von der aktuellen Station aus auf die Strecke und das Netz erweitert. Mehrere Varianten sollen in die Entscheidung einbezogen werden und die Variante mit der minimalen zusätzlichen Reisezeitverlängerung der Fahrgäste soll gewählt werden. Das Verfahren wurde in der südkoreanischen Hauptstadt Seoul erfolgreich auf der Metrolinie 9 angewandt [2]. Es bietet gute Ansatzmöglichkeiten für die Anschlussplanung, erfordert aber die konkreten Fahrgastzahlen der unterschiedlichen Fahrgastströme.

3.2.3 Verfahren zum Ermitteln von Fahrgastzahlen, Umsteige- und Kraftfahrzeugströmen

Fahrgastzahlen und Umsteigeströme bilden eine wichtige Eingangsgröße für die LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung. Darüber hinaus sind sie in der Angebotsplanung unentbehrlich.

Für die Ermittlung der Fahrgastzahlen und Umsteigeströme werden zwei Verfahren angewandt:

- händische oder rechnergestützte Umlegung
- manuelle oder technikunterstützte Zählung

Die Umlegungen können nach der Feingliedrigkeit der Ergebnisse in drei Ebenen unterschieden werden lassen.

- makroskopische Ebene
- mesoskopische Ebene
- mikroskopische Ebene

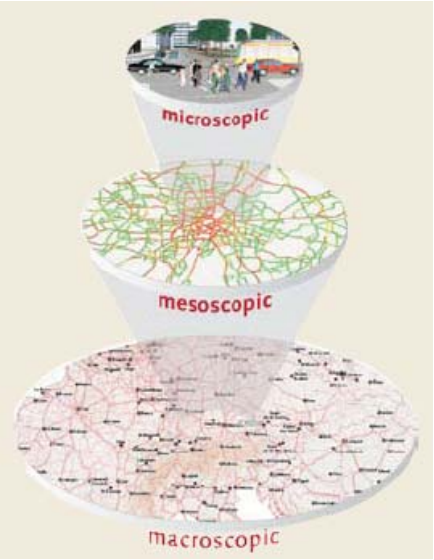


Abbildung 5: drei Modellierungsebenen [101]

Die drei Ebenen unterscheiden sich wesentlich durch die Tiefe der Untersuchung. Auf der makroskopischen Ebene werden überwiegend überörtliche Ortsveränderungen untersucht. Die feinste mikroskopische Ebene bietet die Möglichkeit, das Verkehrsgeschehen knoten-, strecken- oder linienfein abzubilden. Zwischen beiden Ebenen liegt der mesoskopische Bereich, wo hauptsächlich Hauptverkehrsstrassen abgebildet werden können. Für die Umlegung stehen mit Visum ausgereifte Planungsverfahren zur Verfügung. Das Problem besteht jedoch darin, dass die Besetzung jeder einzelnen Fahrt in vermaschten Stadtverkehrsnetzen mit dichtem Takt durch solche Verfahren niemals exakt ermittelt werden können. Dafür sind Zählungen nötig.

Ein typisches System für die Ermittlung der Stärke des Kraftfahrzeugverkehrs ist das Pegelzählsystem. Mithilfe von in der Fahrbahn installierten Doppelinduktionsschleifen lassen sich Beginn und Ende des Überfahrens eines Fahrzeugs genau ermitteln. Aus den gewonnenen Überfahrkurven und Signaturen ist die Stärke der Verkehrsströme berechenbar. Das an der Technischen Universität Dresden entwickelte dynamische Verkehrsmanagementsystem „VAMOS-System“ benutzt diese und andere Daten für das Verkehrssteuerungs- und Verkehrsleitsystem [48].

Im öffentlichen Verkehr wird oft das Fahrgastzählsystem DILAX-System angewandt. Die im Fahrzeug installierten Zählsensoren erfassen die Anzahl der Ein- und Aussteiger. Die Messdaten werden über die Tür-Slaves an einen Server übertragen und dort mit Zeitstempel und Ortungsinformationen gespeichert. Das Auswerten der gewonnenen Daten gestattet, Informationen zur Besetzung des Fahrzeuges oder zu Tagesganglinien zu ermitteln.

Gegenwärtig werden die Daten in der Regel nicht in Echtzeit ausgewertet sondern später. Grundsätzlich ermöglicht die Technik aber ein gleichzeitiges Gewinnen, Auswerten und Benutzen der Daten [102]. Allerdings ist auch festzustellen, dass es nicht möglich ist, mit Hilfe von DILAX die Fahrgäste im Wagen und darüber hinaus zu verfolgen.

Eine genaue Methode für das Ermitteln von Quelle und Ziel der Fahrgäste ist das e-Ticket-System. Das e-Ticket ermöglicht den Datenaustausch zur An- und Abmeldung der Fahrgäste beim Ein- und Aussteigen. Das lässt das personengenaue Ermitteln und statistische Auswerten von Quelle und Ziel der Fahrgäste zu. E-Ticket-Systeme finden zur Zeit weltweit Einsatz im öffentlichen Verkehr. Seine Anwendung ist auf unterschiedlichem Niveau. Es wird beispielsweise in Deutschland in mehreren Verkehrsverbünden über Pilotprojekte erprobt und nicht flächendeckend benutzt. In China benutzen über zehn Millionen Personen die e-Tickets im öffentlichen Verkehr. Das ist allerdings nur ein Teil der Fahrgäste, eine Ermittlung der Verkehrsströme erfolgt nicht. Eine Anwendung der e-Ticketinformationen für die Anschlussplanung zeigt das Forschungsprojekt in der südkoreanischen Hauptstadt Soul [2]. Aus dem e-Ticket-System ist nicht nur die Besetzung der Fahrzeuge bekannt sondern angesichts eines hohen e-Ticket-Anteils auch die Nutzung der einzelnen Anschlüsse.

3.3 Stand der Praxisanwendung

Um den gegenwärtigen Stand der Anwendung der LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung in der Praxis zu analysieren, wurde eine Befragung von deutschen Verkehrsunternehmen durchgeführt.

3.3.1 Erhebungsmethodik

Die schriftliche Befragung konzentriert sich im Wesentlich auf die folgenden drei Grundfragen:

- Welche Anwendungen existieren bereits in der Praxis?
- Wie werden sie technisch umgesetzt?
- Welche Probleme treten dabei auf?

Insgesamt wurden 6 Fragen zur Beeinflussung der LSA und 17 Fragen zur Anschlusssicherung gestellt. Es handelte sich um eine teilstandardisierte Befragung. Die Teilnehmer konnten bei vielen Fragen aus vorgegebenen Antworten auswählen, bei anderen zusätzlich verbale Ergänzungen vornehmen und bei Wenigen ausschließlich frei antworten.

Größere Verkehrsunternehmen, die meist dichter besiedelte Gebiete bedienen, verfügen in der Regel über mehr Technik, um Behinderungen zu verringern. Kleinere Verkehrsunternehmen können sich die Technik oft nicht leisten, benötigen allerdings wegen der viel geringeren Zahl an LSA und der geringeren Verkehrsdichte auch weniger. Außerdem existieren in größeren Städten in der Regel wesentlich differenziertere Nahverkehrssysteme mit vielen Anschlüssen. Deshalb wurden überwiegend Verkehrsunternehmen von Großstädten befragt.

Ausgewählt wurden 50 Unternehmen davon 49 aus den Großstädten. 37 Unternehmen sandten gültige Fragebögen zurück, davon 11 aus den 15 größten Städten. Das entspricht einer Rücklaufquote von 74%.

3.3.2 Erhebungsergebnisse

3.3.2.1 LSA-Beeinflussung

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

In diesem Teil wurden die Unternehmen nach den Möglichkeiten zum Beeinflussen von LSA befragt. Alle 37 befragte Unternehmen antworten, dass auf ihren Linienwegen LSA beeinflusst werden, LSA-Beeinflussung ist inzwischen Standard.

Bei 84% der Unternehmen werden viele Anlagen beeinflusst, bei den Übrigen wenige. Lichtsignalanlagen für die Straßenbahn werden in allen Straßenbahnnetzen beeinflusst, solche für den Bus in 95% der Busnetze.

Bemerkenswert ist, dass keines der befragten Unternehmen angegeben hat, das Maß der Beschleunigung auf die konkrete Verkehrslage abzustimmen. Lediglich ein Unternehmen sendet bei Fahrt vor Plan keine LSA-Anforderung. Drei weitere Unternehmen möchten

zukünftig Lichtsignalanlagen in Abhängigkeit von der konkreten Verkehrslage beeinflussen, davon befindet sich ein Unternehmen gerade in der Versuchsphase.

Die offene Frage nach weiteren Kriterien bei der LSA-Beeinflussung beantworten 70% der Unternehmen mit „keine“. Bei den restlichen Unternehmen konzentrieren sich die Antworten hauptsächlich auf zwei Kriterien, die Stadt- oder Straßenbahn gegenüber dem Bus zu priorisieren und bei Konflikten zwischen mehreren öffentlichen Verkehrsmitteln eine Fahrtrichtung gegenüber der oder den anderen zu bevorrechtigen.

3.3.2.2 Anschlüsse

Anschlussplanung

Bei allen 37 befragten Unternehmen werden Anschlüsse geplant. Davon schätzen 84% der Unternehmen ein, dass sie relativ viele Anschlüsse vorsehen. Die verbleibenden 16% der Unternehmen planen eher wenige Anschlüsse.

In der Schwachverkehrszeit sind 97% der Unternehmen in der Anschlussplanung aktiv. Mit dem Verdichten des Taktes sinkt die Anzahl der Unternehmen auf 84% in der Neben- und 76% in der Hauptverkehrszeit. Das lässt aber erkennen, dass viele Unternehmen nicht nur in der traditionell für Anschlüsse bevorzugten Schwach- und Nebenverkehrszeit sondern auch in der Hauptverkehrszeit Anschlüsse planen.

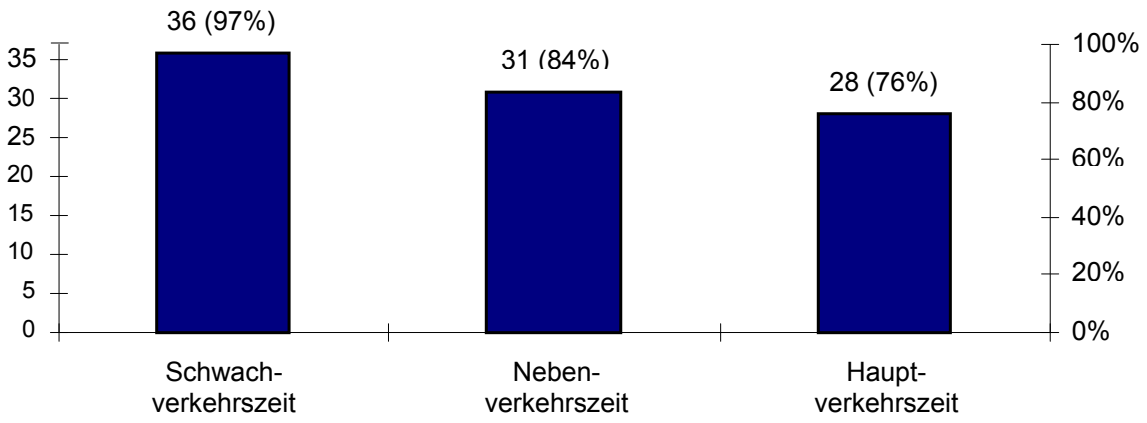


Abbildung 6: Anschlussplanung nach Verkehrszeit

In allen 37 Städten verkehren Busse und Regionalbahnen. Straßenbahnen sind dagegen nur in 25 Städten zu finden, U-Bahnen in 11. Über eine S-Bahn verfügen 23 der befragten Städte.

Die Befragung hat ergeben, dass Busse und Straßenbahnen am häufigsten als Zu- und Abbringer eines geplanten Anschlusses dienen. Danach folgen U-Bahn, S-Bahn und Regionalbahn. Wesentliche Unterschiede zwischen Zu- und Abbringerfunktionen traten nicht auf. Details zeigen Tabelle 7 und Abbildung 7. Während etwa ein Viertel der Unternehmen nur Anschlüsse mit eigenen Verkehrsmitteln vorsieht, plant drei Viertel auch unternehmensübergreifende Anschlüsse.

Verkehrsmittel (VM)	Bus	Straßenbahn	U-Bahn	S-Bahn	Regionalbahn
Anzahl der befragten Städte, die über das VM verfügen	37	25	11	23	37
Anzahl der Städte, in denen das VM Zubringer ist	36	22	9	12	14
Relativ	97%	88%	82%	52%	38%
Anzahl der Städte, in denen das VM Abbringer ist	36	22	9	13	12
Relativ	97%	88%	82%	57%	32%

Tabelle 7: Einsatz der Verkehrsmittel als Zu- und Abbringer

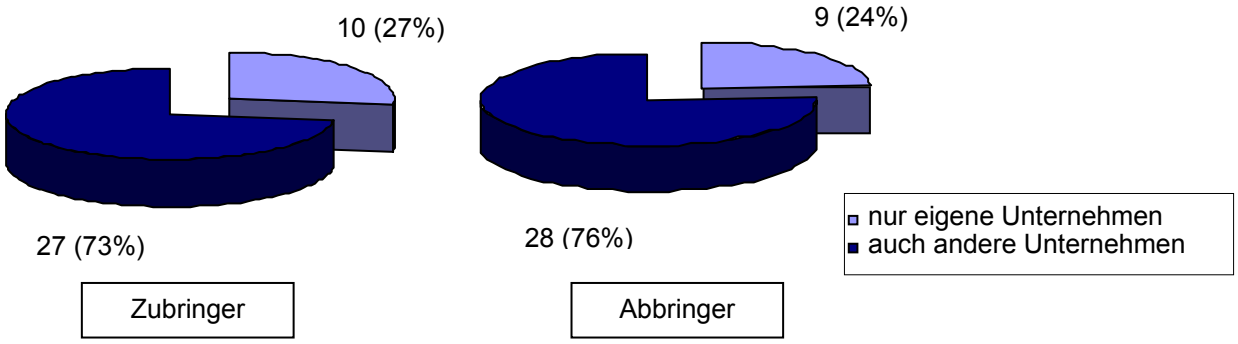


Abbildung 7: Unternehmen mit unternehmensinternen und -übergreifenden Anschlüssen

Anschlusssicherung – Anzahl und Kategorien

3 Unternehmen sichern die Anschlüsse nicht extra, was 8% der 37 Unternehmen entspricht. Die anderen 34 Unternehmen versuchen jedoch, die Anschlüsse für die Fahrgäste zu gewährleisten.

Bei der Befragung wurden die Anschlüsse beziehungsweise die Umsteigemöglichkeiten in Anlehnung an [18] in vier Kategorien unterteilt (siehe Kapitel 4.2.1.2):

- ausgewiesene und garantierte Anschlüsse (Kategorie A)
- ausgewiesene aber nicht garantierte Anschlüsse (Kategorie B)

- nicht ausgewiesene Anschlüsse (Kategorie C)
- spontan entstehende Umsteigebeziehungen (Kategorie D)

Ausgewiesene und garantierte Anschlüsse werden auch am häufigsten gesichert, und zwar in 21 Unternehmen. Es folgen die übrigen Anschlüsse mit 16…17 Nennungen, weitgehend unabhängig davon, ob sie extra ausgewiesen wurden oder nicht. Spontan entstehende Umsteigebeziehungen werden dagegen nur in 6 Unternehmen gesichert.

27% der Unternehmen gewährleisten nur die Anschlüsse der höchsten Kategorie, weitere 30% zusätzlich Anschlüsse mindestens einer weiteren Kategorie. 5,4 % der Unternehmen sichern Anschlüsse aller vier Anschlusskategorien. Die Tatsache, dass ein Sechstel der Unternehmen angab, auch spontan entstehende Umsteigebeziehungen zu sichern, lässt vermuten, dass die Unternehmen zunehmend kundenorientiert arbeiten möchten, obwohl eine technische Unterstützung für diesen Fall weitgehend fehlt.

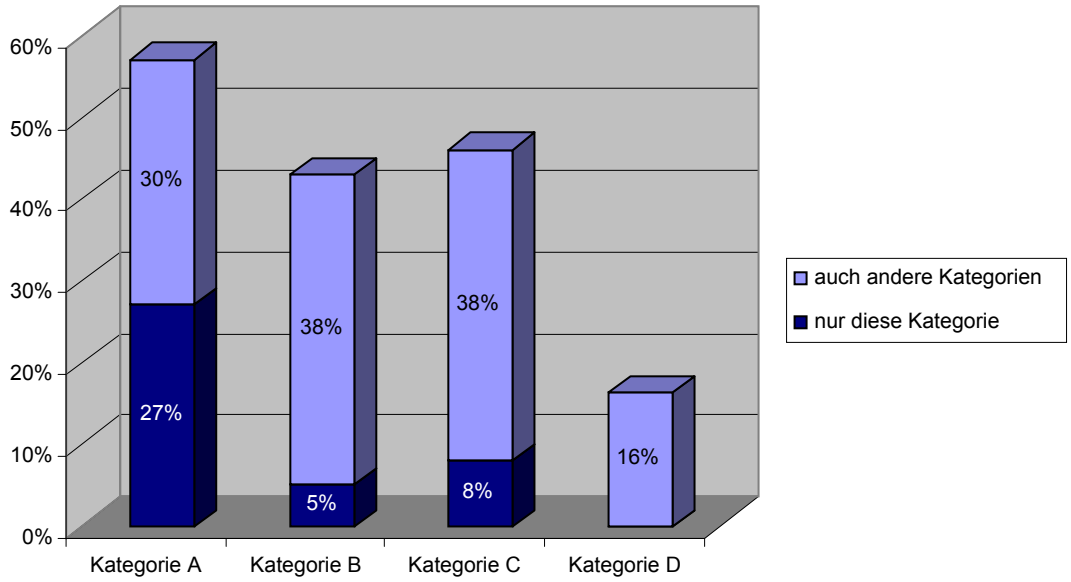


Abbildung 8: Anteil der gesicherten Anschlüsse nach Kategorien

Anschlusssicherung – Maßnahmen und Problem

Nachstehend wird betrachtet, wann und wie jene 34 Unternehmen, die Anschlüsse sichern, tätig werden.

33 Unternehmen haben angegeben, dass die Anschlusssicherung bei planmäßigem Betrieb unterstützt wird, bei unplanmäßigem Betrieb erhält das Fahrpersonal dagegen nur in 28

Unternehmen Unterstützung, obwohl dann die Unterstützung wichtiger wäre. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass das Beseitigen der Ursache des unplanmäßigen Betriebs zunächst die verfügbaren Kräfte bindet, vielerorts jedoch die Leittechnik allein das Fahrpersonal bei der Anschlusssicherung im Störungsfall nicht zu unterstützen vermag.

Die meisten Unternehmen reagieren bei planmäßigem und unplanmäßigem Betrieb ähnlich. In jedem vierten befragten Unternehmen stimmen sich die Fahrpersonale untereinander ab. Diese Vorgehensweise kommt auch bei den wenigen Unternehmen, die noch kein Leitsystem besitzen, überwiegend zum Einsatz. Zu erkennen ist auch, dass die Disponenten bei planmäßigem Betrieb bei weniger Unternehmen direkt eingreifen als bei unplanmäßigem Betrieb. Einige Unternehmen haben bestätigt, dass die Disponenten bei planmäßigem Betrieb das Geschehen eher im Hintergrund überwachen, insbesondere bei Verkehrsmitteln anderer Verkehrsunternehmen. Auf Leitsysteme wird bei unplanmäßigem Betrieb weniger häufig zurückgegriffen als bei planmäßigem. Das lässt Entwicklungspotenziale erwarten. Im frei verfügbaren Feld wurden überwiegend klassische Verfahren genannt, wie Sichtkontakt, Kurstafel und ortsfeste Anschlusssignale.

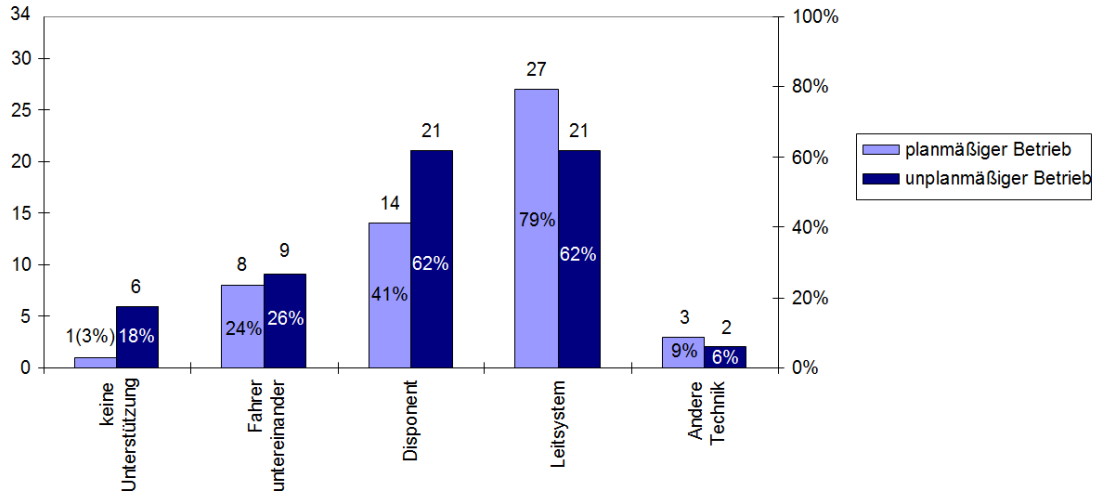


Abbildung 9: Unterstützung der Anschlusssicherung bei plan- und unplanmäßigem Betrieb

Hat der Zubringer Verspätung, muss der Abbringer eventuell warten. Die Unternehmen wurden befragt, wer in dieser Situation letztlich über die Wartezeit entscheidet. Das Ergebnis zeigt Abbildung 10. Nur ein Unternehmen lässt das Fahrpersonal allein über die Wartezeit entscheiden. Bei 7 Verkehrsunternehmen (21%) entscheidet der Disponent allein. Das Leitsystem dagegen trifft in keinem der befragten Unternehmen die Entscheidung über die Wartezeit allein. In jeweils 9 Fällen (26%) entscheidet der Disponent mit Unterstützung des Leitsystems oder gemeinsam mit dem Fahrpersonal, in 7 Unternehmen (21%) mit beiden

gleichermaßen. Damit sind bei 94% der befragten Verkehrsunternehmen die Disponenten an der Entscheidung über die Wartezeit beteiligt, bei 53% die Fahrpersonale und bei 50% das Betriebsleitsystem.

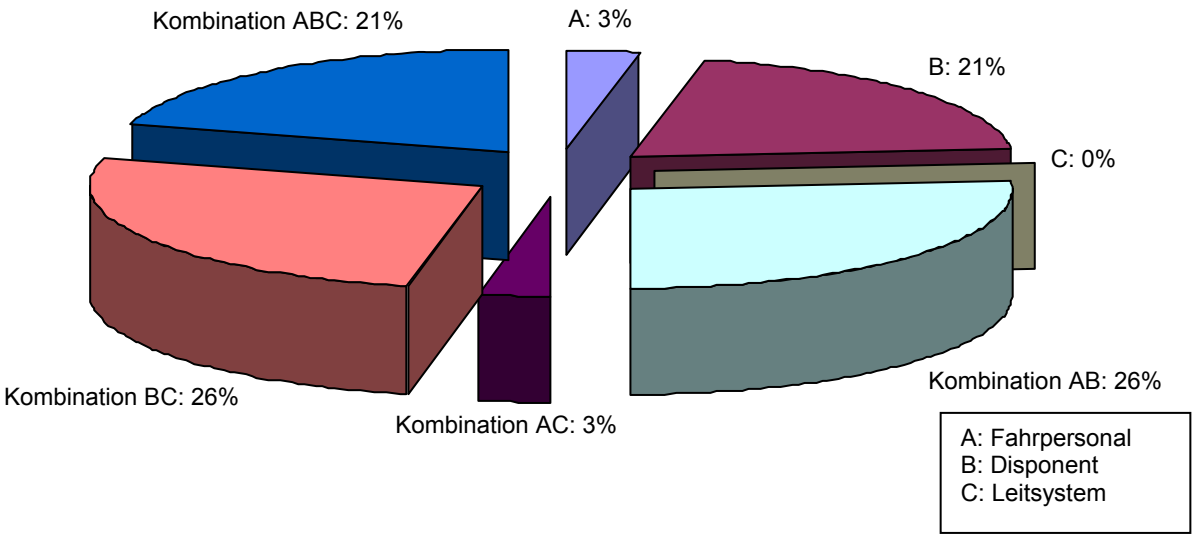


Abbildung 10: Entscheiden über die Wartezeit des Abbringers bei verspätetem Zubringer

In einer weiteren Frage wurde erhoben, anhand welcher Kriterien die Entscheidung zur Wartezeit erfolgt. Zur Auswahl standen eine vorab festgelegte maximale Wartezeit, die konkrete betriebliche Situation und ein offenes Feld. Über die letzteren haben zwei Unternehmen Hinweise angegeben. Ein Unternehmen davon nennt die Bedeutung des Anschlusses und betrachtet auch Auswirkungen auf Folgeanschlüsse sowie Lenk- und Ruhezeiten des Fahrpersonals, das andere bezieht die Wartezeit der Kunden zur nächsten Fahrgelegenheit ein. 33 Unternehmen entscheiden sich für die vorgegebenen Antworten, davon etwa ein Drittel für beide Vorgaben und etwa je ein weiteres Drittel für eine der beiden Vorgaben. 8 der 20 Unternehmen, die angegeben haben, die maximale Wartezeit vorab festzulegen, nennen keine konkreten Werte, die übrigen Unternehmen in der Regel maximale Wartezeiten zwischen 2 und 5 Minuten. Der größte genannte Wert liegt bei 8 Minuten.

Nach welchen Aspekten wurde die maximale Wartezeit auf einen verspäteten Zubringer festgelegt? Einen Einblick in die Antworten gewährt Abbildung 11. Die Taktzeit des Abbringers, ein wichtiger Aspekt aus Kundensicht, ist mit 72,7% auch den Unternehmen am wichtigsten. Danach folgt die Wendezeit des Abbringers. Mit 9,1% der Nennungen landet die Kapazität der Haltestelle überraschend auf dem letzten Platz. 27,3% der Unternehmen haben das offene Feld genutzt, von diesen erachtet ein Drittel die Auswirkungen auf Folgeanschlüsse als wichtig.

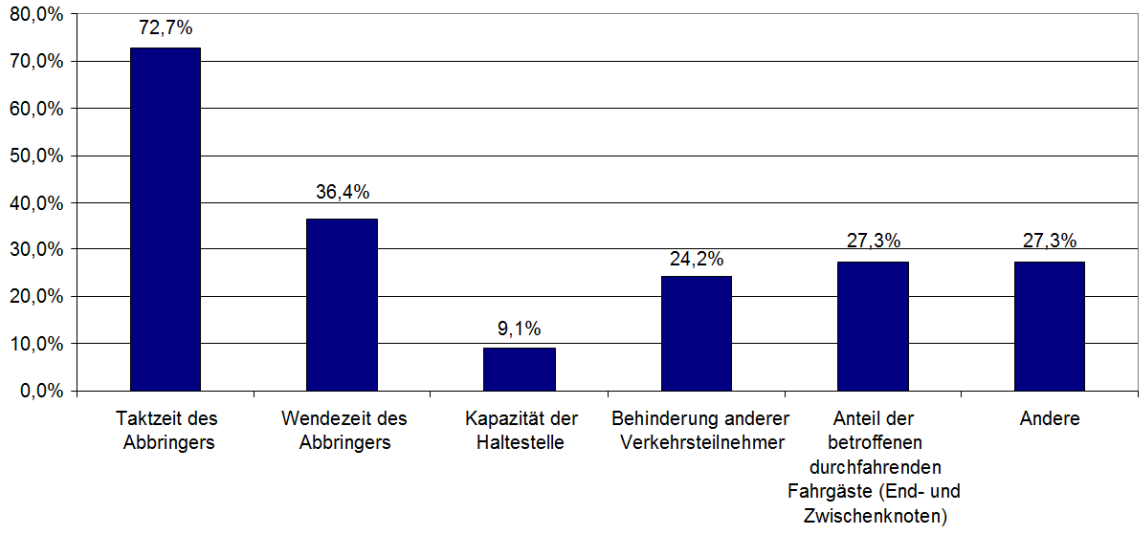


Abbildung 11: Aspekte für die Festlegung der maximalen Wartezeit auf einen verspäteten Zubringer

Während sich 70,6% der befragten Unternehmen vorstellen können, mehr geplante Anschlüsse zu sichern, stehen dem bei spontanen Umsteigebeziehungen nur halb soviel Unternehmen aufgeschlossen gegenüber.

Auf die anschließende Frage, warum sie nicht mehr geplante Anschlüsse sichern, führen 29,4% der Unternehmen eine zu geringe Betriebsstabilität und 23,5% ungeeignete Anlagen an. Mit einem Anteil von 17,6% und 11,8% liegen geringe Kapazität zum Sichern von Anschlüssen und wirtschaftliche Gründe auf den Plätzen drei und vier. Daneben werden insbesondere eine fehlende Unterstützung durch das Leitsystem und ein hoher Personalaufwand zum Disponieren und Planen genannt.

Auf die Frage „Sollten in Ihrem Unternehmen mehr spontane Umsteigebeziehungen gesichert werden?“ antworten deutlich mehr Unternehmen mit „nein“. Die Hintergründe sind ähnlich denen bei den geplanten Anschlüssen, wenngleich ungeeignete Anlagen eine etwas geringere und wirtschaftliche Gründe eine größere Rolle spielen. Am häufigsten wird wiederum eine zu geringe Betriebsstabilität genannt, an dieser Stelle sogar mit 35,3%. Weitere Gründe sind fehlende Technik oder mangelnde Gewöhnung der Fahrgäste.

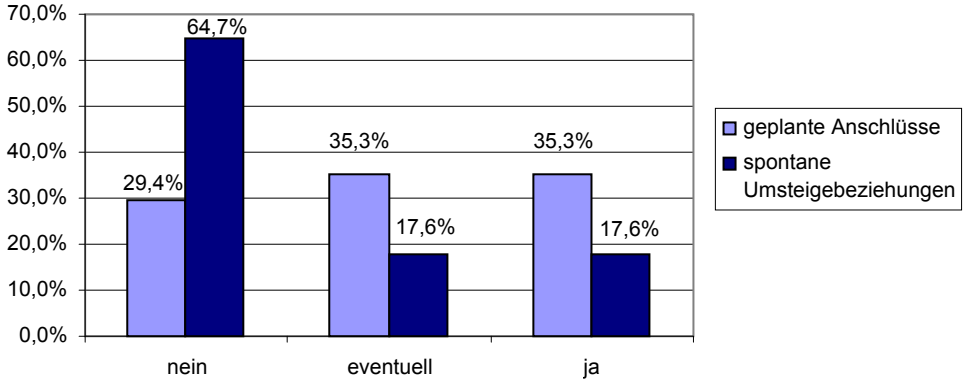


Abbildung 12: Absicht zum Ausweiten des Sicherns geplanter Anschlüsse und spontaner Umsteigebeziehungen

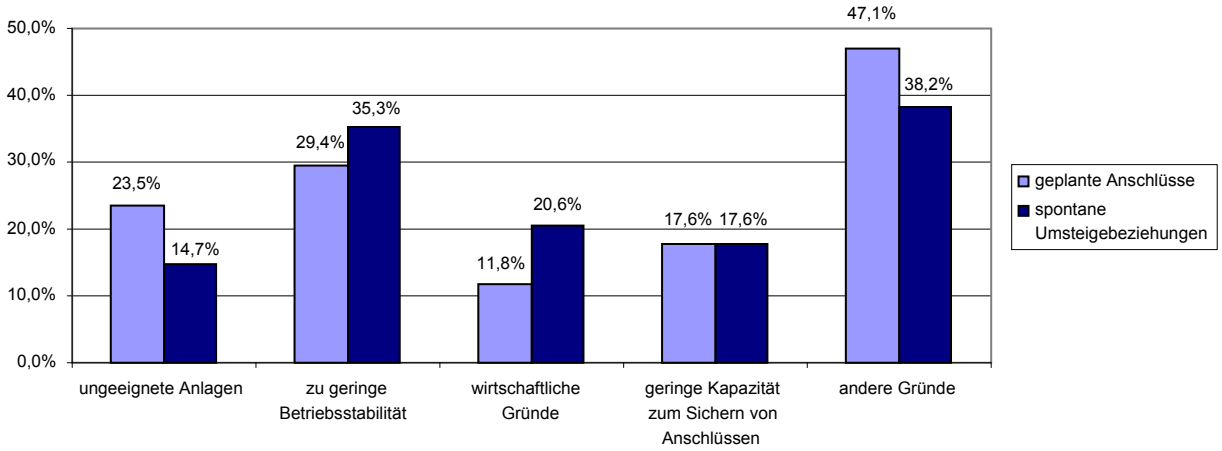


Abbildung 13: Gründe gegen das Ausweiten des Sicherns geplanter Anschlüsse und spontaner Umsteigebeziehungen

Am Schluss des Frageblocks zu den Anschlüssen konnten die Unternehmen weitere noch nicht erfasste Probleme zu Anschlussplanung und -sicherung anführen. Diese Möglichkeit nutzte etwa die Hälfte der Befragten mit insgesamt 22 Hinweisen, von denen wiederum die Hälfte erstmals angeführt wurde. Diese betrafen insbesondere einen erhöhten Planungs- und Optimierungsaufwand, das Erfordernis einer qualifizierten Kundeninformation, Hinweise auf erforderliche Schnittstellen zu RBL benachbarter Unternehmen und Zweifel an der erforderlichen Zuverlässigkeit und Kapazität der RBL-Technik.

3.3.2.3 Zusammenfassung

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

1. An der Befragung haben 37 deutsche Stadtverkehrsunternehmen teilgenommen, darunter 11 der 15 größten.

2. Bei allen befragten Unternehmen werden auf ihren Linienwegen die Lichtsignalanlagen beeinflusst. Das Beeinflussen von Lichtsignalanlagen ist in Deutschland inzwischen Stand der Technik.

3. Keines der befragten Unternehmen stimmt heute das Maß der Beschleunigung auf die konkrete Verkehrs- und Betriebslage ab. Mit einer fahrtkonkreten Beeinflussung von Lichtsignalanlagen wird völliges Neuland beschritten.

4. 31 Verkehrsunternehmen von den 37 an der Befragung teilnehmenden Unternehmen besitzen ein Betriebsleitsystem und erfüllen damit grundsätzlich die technischen Voraussetzungen für die lokale Anwendung der in dieser Arbeit angestrebten Ergebnisse.

5. Alle 37 Verkehrsunternehmen planen und 34 sichern Anschlüsse. Ihr wichtigstes Problem bei der Anschlusssicherung ist eine zu geringe Betriebsstabilität. Danach folgen das Fehlen einer technischen Unterstützung sowie der zu hohe Aufwand beim Planen und Disponieren. Genau an diesen Stellen sollte das zu entwickelnde Verfahren die Unternehmen unterstützen.

Die Ergebnisse bestätigen, dass Bedarf an einer wissenschaftlichen Untersuchung für eine fahrtkonkrete Beeinflussung von Lichtsignalanlagen und Anschlusssicherung besteht. Die folgende Untersuchung vermag, eine Lücke im Fachwissen zu schließen und wichtige Grundlagen für die Praxisanwendung zu schaffen.

4 Verfahrensentwicklung

4.1 Methodik

4.1.1 Einordnung in den Gesamtzusammenhang

Das Ziel, eine höhere Verlässlichkeit im ÖPNV zu erreichen, erfordert das Zusammenwirken verschiedener Fachbereiche. Deshalb werden gleichzeitig vier zusammenwirkende Modelle entwickelt. Das in dieser Arbeit entstehende Modell wird im Folgenden als ÖV-Modell bezeichnet. Die anderen drei Modelle, die in zwei parallel laufenden wissenschaftlichen Arbeiten erarbeitet werden, sind

- das Annäherungsmodell [23]
- das MIV-Modell [38]
- das LSA-Modell [38]

Jedes Modell hat eine eigene Aufgabe. Alle vier Modelle werden über Schnittstellen verbunden, über die der Datenaustausch und die Datenbearbeitung abgewickelt werden. Das Zusammenführen der Untersuchungsergebnisse aller vier Modelle sichert das komplette Verfahren der fahrtkonkreten LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung. Das Zusammenwirken der Verfahren und der Modelle wird in Abbildung 14 dargestellt.

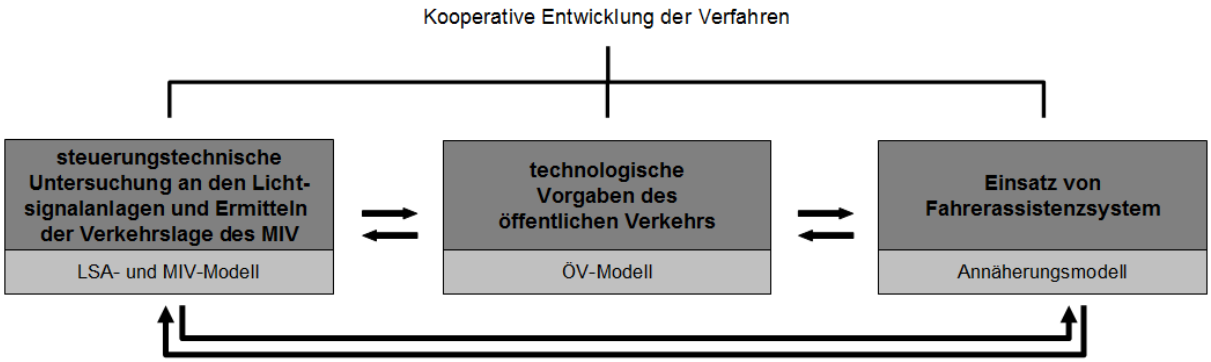


Abbildung 14: Kooperative Entwicklung der Verfahren [201]

Abbildung 15 zeigt den Aufbau des ÖV-Modells mit Schnittstellen zu den anderen drei Modellen. Das Verfahren im ÖV-Modell startet mit dem Erfassen eines öffentlichen

Verkehrsmittels über seine Anmeldung an einem Meldepunkt. Über die Anmeldung wird das Fahrzeug gleichzeitig im Annäherungsmodell registriert. Anhand der aktuellen Fahrplanlage werden die fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen in einem Algorithmus geprüft. Über die Schnittstellen werden notwendige Daten den übrigen Modellen übergeben. Nach Verarbeitung werden sie je nach Bedarf wieder zum ÖV-Modell für die weitere Bearbeitung zurückgeschickt. Das Verfahren im ÖV-Modell endet mit der Festlegung der Prioritätsanforderung für die LSA-Beeinflussung und der Entscheidung für oder gegen eine Anschlussgewährung.

Die im ÖV-Modell durchgeführten Arbeitsschritte stellen den Kern der Abbildung 15 dar. In den Modellfenstern der anderen drei Modelle wurden die dort durchzuführenden wichtigen Prüfungen vereinfacht. Die in der Abbildung dargestellten Schnittstellen werden in späteren Kapiteln im Rahmen der Erläuterung der Schnittstellen behandelt.

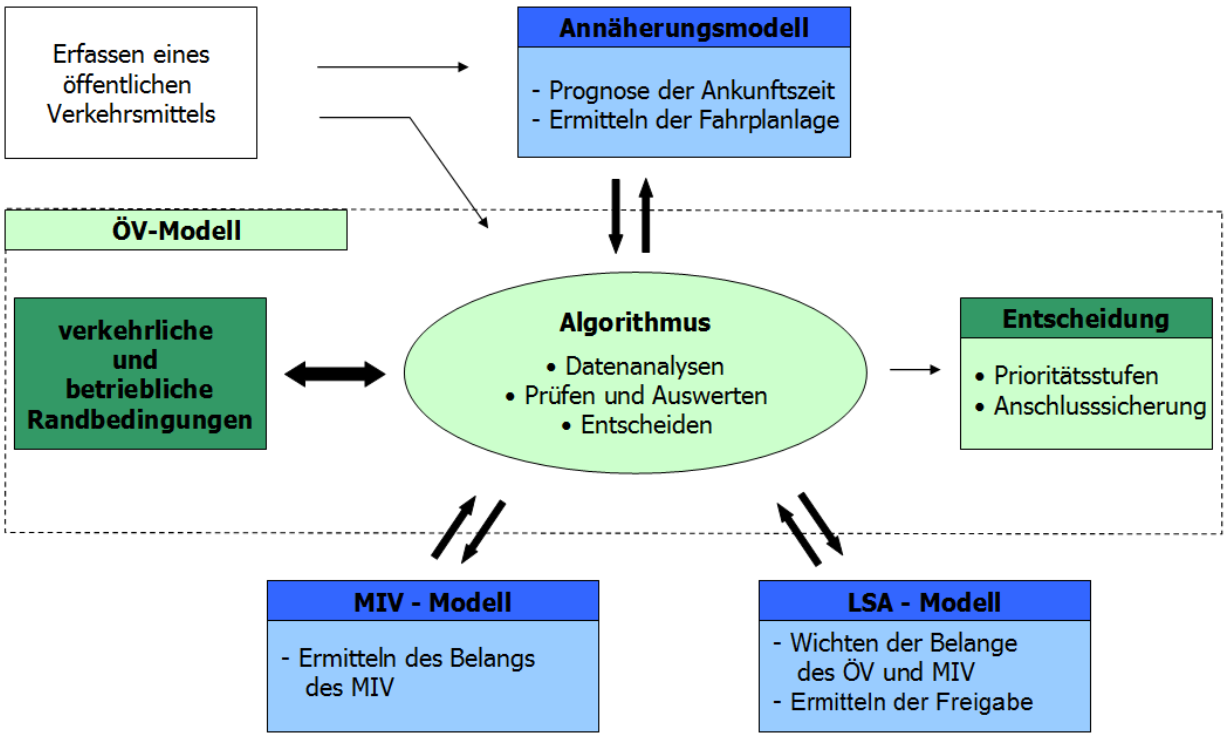


Abbildung 15: Aufbau des ÖV-Modells

Wichtig für das Funktionieren des ÖV-Modells sind eine zuverlässige Technik, eine sinnvolle Logik sowie die angemessene Berücksichtigung aller verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen. Die Technik, genauer gesagt, die Leittechnik auf dem Fahrzeug, das Betriebsleitsystem und die Lichtsignalanlagen, schafft die technischen Voraussetzungen für die Entwicklung der Logik, in die die verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen einfließen. Die wichtigste Randbedingung bilden die Verkehrsströme. Um die Interessen aller

Verkehrsteilnehmer berücksichtigen zu können, müssen sie erfasst und algorithmisch verarbeitet werden. Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stehen dabei die Kunden der öffentlichen Verkehrsmittel. Diese werden durch die einzelnen Fahrzeuge repräsentiert. Deren fahrtkonkrete Eigenschaften wie Pünktlichkeit, verschiedene Zeitreserven im Umlauf und bei der Anschlussgewährung, zu beachtende Ankunftszeiten oder eventuelle Störungen dienen als Grundlagen für den Entscheidungsprozess im Logikteil. Tabelle 8 zeigt die Komponenten und deren Elemente.

Technik	Logik	verkehrliche und betriebliche Randbedingungen
- Leittechnik auf dem Fahrzeug - Betriebsleitsystem - Lichtsignalanlagen	- Algorithmus	- Verkehrsströme im ÖV - Anschlüsse - Pünktlichkeit - zwingende, wichtige oder gewünschte Ankunftszeiten - Störungen

Tabelle 8: Komponenten des ÖV-Modells

4.1.2 Abgrenzung des ÖV-Modells zu den übrigen Modellen

Da das Annäherungsmodell, das MIV- und LSA-Modell in anderen wissenschaftlichen Arbeiten entwickelt werden, ist es notwendig, die Inhalte dieser Arbeiten als ÖV-Modell von denen der anderen Modelle abzugrenzen.

ÖV-Modell:

Im ÖV-Modell werden Untersuchungen mit folgenden Schwerpunkten durchgeführt:

- Ermitteln der Prioritätsstufen zur LSA-Beeinflussung eines öffentlichen Verkehrsmittels anhand der verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen. Die Priorität spiegelt die Dringlichkeit der Freigabeanforderung des Verkehrsmittels an der LSA wider.
- Entwickeln der Algorithmen zum Ermitteln der Prioritätsstufen
- Entwickeln der Algorithmen zur Anschlusssicherung

Die Algorithmen zur Anschlusssicherung sollen sowohl für einen LSA gesteuerten Knoten als auch einen Knoten ohne LSA geeignet sein.

Das Auswählen einer zweckmäßigen Freigabe für das jeweilige ÖV-Fahrzeug selbst ist Aufgabe des LSA-Modells.

Annäherungsmodell:

Das Annäherungsmodell ist Grundlage des Fahrerassistenzsystems [23]. Seine Aufgabe ist, anhand der Datenbank über die Fahrten der Vergangenheit den Fahrtverlauf der aktuellen Fahrt zu prognostizieren und die Ankunftszeit an wichtigen Punkten sowie die Fahrplanlage zu ermitteln. Das Modell liefert die Genauigkeit, die für den zukünftigen Einsatz des gesamten Verfahrens notwendig ist. Eine hohe Genauigkeit der Prognose der Ankunftszeit an einem Punkt ist einerseits sehr wichtig für die Weiterverarbeitung der Ergebnisse bei weiteren Prüfungen. Andererseits ist diese Genauigkeit auch wichtig für die Fahrgäste bei der Anschlussgewährung, insbesondere dann, wenn die Anschlussinformation den Fahrgästen bekannt gegeben wird.

Die im Annäherungsmodell zu bearbeitenden Punkte sind:

- Definition des Meldepunktes

  Zum Erfassen eines öffentlichen Verkehrsmittels ist insbesondere die Frage zu klären, wo sich der Meldepunkt befinden soll.

- Prognose der Ankunftszeit an der LSA, um die Freigabe für die einzutreffenden Verkehrsmittel zu ermitteln

- Prognose der Ankunftszeit an der Umsteigehaltestelle, um für die Anschlusssicherung die Ankunftszeit von Zu- und Abbringer zu ermitteln

- Prognose des Aufenthaltes an der Umsteigehaltestelle

  Dazu gehört das Ermitteln der Haltestellenaufenthaltszeit. Bei Anschlussgewährung sind ihre einzelnen Zeitelemente – die Ein- und Aussteigezeit und die Zeit für das Zurücklegen des Übergangswegs – zu berücksichtigen.

Modell des MIV:

Das Modell des MIV beschäftigt sich mit der Beschreibung des MIV [38]. In ihm sind die folgenden Aufgaben zu lösen:

- Ermitteln der Stärke der MIV-Ströme

- Ermitteln der Belange des MIV hinsichtlich der zu wählenden Freigabe an der LSA

Modell der LSA:

Die Ergebnisse des Modells der LSA spielen eine sehr wichtige Rolle für diese Arbeit, da in ihm wichtige Entscheidungen zur Signalisierung getroffen werden [38]. Im Modell sind vier Punkte zu bearbeiten:

- Prüfen des Schaltzustands der LSA-Anlage
- Abwägen der Anforderungen des ÖV und MIV
- Ermitteln zweckmäßiger Freigaben für den ÖV
- Prüfen und Lösen von Freigabekonflikten bei mehreren Zufahrten des ÖV

4.2 Randbedingungen

In dem Verfahren sind verkehrliche und betriebliche Randbedingungen des ÖV fahrtkonkret zu betrachten. Einige Randbedingungen – verkehrliche, wie Verkehrsströme, oder betriebliche, wie Fahrplanlage, Takt- und Zugfolgezeit – wurden bereits in Kapitel 2 zur Begriffsbestimmung geklärt. Andere werden weiterentwickelt und dazu werden neue Randbedingungen vorgestellt. Diese enthält Tabelle 9.

	Randbedingungen
verkehrliche	Anschlussart
	Anschlusskategorien
	Sonderregelungen
betriebliche	Zeitreserven im Umlauf
	Zeitreserven bei der Anschlussgewährung
	Beförderungszeitzuschläge
	maximal zulässige Wartezeit
	maximal zulässige Verspätung
	Personalwechsel

Tabelle 9: verkehrliche und betriebliche Randbedingungen

4.2.1 Verkehrliche Randbedingungen

4.2.1.1 Anschlussarten

Im Rahmen dieser Arbeit muss der Begriff „Anschluss“ schrittweise genau definiert werden. Zunächst sind die unterschiedlichen Umsteigemöglichkeiten anhand Abbildung 16 zu definieren:

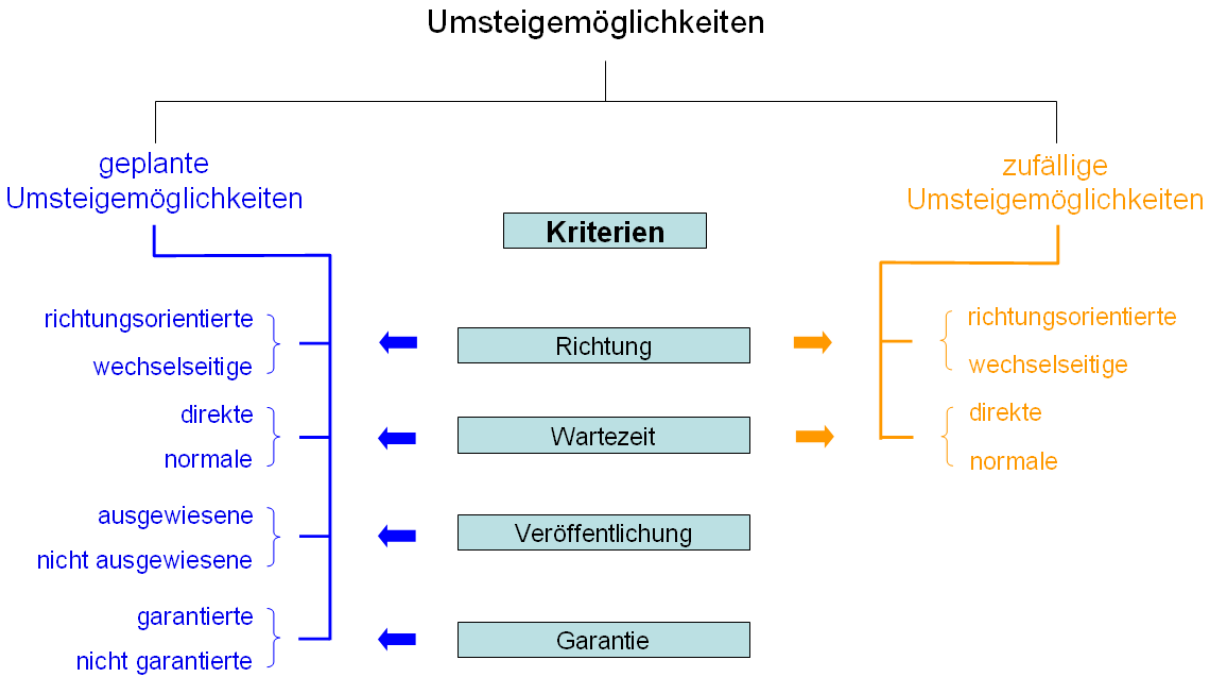


Abbildung 16: Zuordnung Umsteigemöglichkeiten [12]

Umsteigemöglichkeiten können grundsätzlich vorab geplant werden oder zufällig entstehen. Sie können nach verschiedenen Kriterien unterschieden werden. Anschluss kann folgendermaßen definiert werden.

Anschluss ist das vorgesehene „räumlich und zeitlich aufeinander abgestimmte Zusammenführen mehrerer“ [1] öffentlicher Verkehrsmittel zum Zwecke des Umsteigens zwischen den beteiligten Verkehrsmitteln. Ein Anschluss kann im Fahrplan geplant werden oder zufällig entstehen.

[1] [18], Seite 27

Nach dem ersten Unterscheidungskriterium **Richtung** der Umsteiger lassen sich Anschlüsse in richtungsorientierte und wechselseitige unterscheiden.

Richtungsorientierte Das beteiligte Verkehrsmittel ist nur Zubringer oder Abbringer.

Wechselseitige Jedes beteiligte Verkehrsmittel ist gleichermaßen Zu- und Abbringer.

Beim Umsteigen treten für die Fahrgäste sowohl eine Gehzeit für den Weg von ihrem ersten zu ihrem zweiten Verkehrsmittel als auch eine Wartezeit - meist an der Haltestelle des Abbringers - auf. Nach der **Wartezeit** der Umsteiger können Anschlüsse unterschieden werden in:

Direkte sofern die Wartezeit eine vorgesehene Zeitdauer $t_{w,d,max}$ nicht übersteigt.

Normale wenn die Wartezeit länger als $t_{w,d,max}$ aber noch kürzer als ein zweites Zeitelement $t_{w,n,max}$ ist.

Ein sinnvoller Wert für $t_{w,n,max}$ ist 50% der Takt- oder Zugfolgezeit. $t_{w,d,max}$ nimmt einen Wert zwischen 0 und $t_{w,d,max}$ an.

Angesichts ihrer unterschiedlichen Bedeutung werden geplante Anschlüsse den Kunden verschieden kommuniziert. Nach ihrer **Veröffentlichung** werden sie unterschieden in:

Ausgewiesene werden den Kunden gegenüber in der Regel extra ausgewiesen, beispielsweise durch Anschlusszeilen in Fahrplänen oder gesonderte Werbung.

Nicht ausgewiesene können in der Regel durch Vergleichen mehrerer Fahrplantabellen von den Kunden selbst ermittelt werden.

Darüber hinaus kann für ausgewählte bedeutsame geplante Anschlüsse ein **Garantieversprechen** gegeben werden, das die Kunden bei Nichteinhalten einlösen können. Also existieren:

Garantierte mit Garantieversprechen

Nicht garantierte ohne Garantieversprechen

4.2.1.2 Anschlusskategorien

Wenn ein Fahrzeug des ÖV von einer Endstelle zur anderen fährt, ist es durchaus möglich, dass es für dieses mehrere Anschlussbeziehungen gibt und diese geprüft werden müssen. Naheliegend ist auch, dass der wichtigere Anschluss Priorität vor dem weniger wichtigen hat. Daher ist es notwendig, die Anschlüsse nach Wichtigkeit Kategorien zuzuordnen. Deshalb sind vier Anschlusskategorien sinnvoll.

- Kategorie 1: „**ausgewiesene und garantierte Anschlüsse**„
- Kategorie 2: „**ausgewiesene aber nicht garantierte Anschlüsse“**
- Kategorie 3: „**nicht ausgewiesene Anschlüsse**“
- Kategorie 4: „**spontan entstehende Umsteigebeziehungen**“

Nachstehend werden die vier Anschlusskategorien konkret vorgestellt.

Kategorie 1: „**ausgewiesene und garantierte Anschlüsse**„

Der Anschluss wird bei Fahrplanerstellung extra berücksichtigt. Die Übergangszeit und die Synchronisationszeit werden in der Beförderungszeit eingerechnet. Bei unplanmäßigem Betrieb wartet der Abbringer in der Regel auf den Zubringer und sichert den Fahrgästen den versprochenen Anschluss. Diese Kategorie wird aus Sicht der Verkehrsunternehmen und der Fahrgäste wegen des Garantieversprechens als zwingend angesehen.

Als Beispiel gehört das „Postplatztreffen“ in Dresden zu dieser Anschlusskategorie. Der sich im Stadtzentrum befindende Postplatz ist im Nacht- und Wochenendfrühverkehr der wichtigste Umsteigepunkt des städtischen Nahverkehrs in Dresden. Damit die Fahrgäste dieser Zeit trotz der größeren Taktzeit schnell mit dem öffentlichen Verkehr ihre Reiseziele erreichen können, treffen sich wichtige Linien in regelmäßigen Zeitabständen am Postplatz. Dadurch können die Fahrgäste bequem umsteigen. Falls ein Verkehrsmittel Verspätung hat, warten alle anderen. Das Auflösen des Treffens wird durch den Disponenten geregelt. Diese Anschlüsse werden von dem Verkehrsbetrieb der Öffentlichkeit bekanntgegeben, beworben und garantiert [105].

Kategorie 2: „**ausgewiesene aber nicht garantierte Anschlüsse“**

Anschlüsse dieser Kategorie sind für die Kunden in aller Regel wichtig, für die entweder keine zumutbaren Alternativen oder stets Umsteigeströme vorhanden sind. Sie werden für

die Fahrgäste im Fahrplan ausgewiesen, aber nicht garantiert. Gegenüber dem Fahrpersonal sind zwei Verfahrensweise üblich. Bei geringen Übergangszeiten oder altnativlosen Anschlüssen wird das Fahrpersonal in der Regel über die dienstlichen Unterlagen zum Sichern des Anschlusses aufgefordert, anderenfalls wird die Übergangszeit vorgesehen, die auch bei Fahrplanabweichungen in üblichen Größenordnungen das Zustandekommen des Anschlusses ermöglicht. Das bedeutet aber auch, dass bei Überschreiten einer vorgegebenen Wartezeit oder einer Verspätung der prognostizierten Größe der Anschluss aufgegeben wird.

Als Beispiel sind Anschlüsse zwischen den Buslinien 80 und 64 an der Haltestelle ElbePark in Dresden zu nennen. Abbildung 17 zeigt einen Fahrplanausschnitt der Linie 80. Im Fahrplan wird bis 8.52 Uhr ausgewiesen, dass der Anschluss in der Regel abgewartet, aber nicht garantiert wird. Anschließend sorgt eine Übergangszeit von 4 bis 5 Minuten dafür, dass der Anschluss auch bei geringen Verspätungen funktioniert.

BUS **80** **Omsewitz - Cotta - Übigau - Trachau - Wilder Mann - Boxdorf - Wilschdorf - Klotzsche**

Am 24. und 31.XII. Verkehr nach Sonderfahrplan (Frühverkehr wie Samstag). DVB-Serviceruf:

		SAMSTAG																
Dresden Omsewitz		5.08	5.38	alle 30 Min	7.08		7.38	8.08	8.38	9.00	9.30	10.00	10.30	10.57	11.27	alle 30 Min	18.27	19.00
Dresden Adalbert-Stifter-Weg		5.09	5.39		7.09		7.39	8.09	8.39	9.01	9.31	10.01	10.31	10.58	11.28		18.28	19.01
Dresden Altburgstädtel		5.10	5.40		7.10		7.40	8.10	8.40	9.02	9.32	10.02	10.32	10.59	11.29		18.29	19.02
Dresden Lise-Meitner-Straße		5.11	5.41		7.11		7.41	8.11	8.41	9.03	9.33	10.03	10.33	11.00	11.30		18.30	19.03
Dresden Gorbitzer Straße		5.12	5.42		7.12		7.42	8.12	8.42	9.04	9.34	10.04	10.34	11.01	11.31		18.31	19.04
Dresden Arthur-Weineck-Straße		5.13	5.43		7.13		7.43	8.13	8.43	9.05	9.35	10.05	10.35	11.02	11.32		18.32	19.05
Dresden Grillparzerstraße		5.14	5.44		7.14		7.44	8.14	8.44	9.06	9.36	10.06	10.36	11.03	11.33		18.33	19.06
Dresden Ockerwitzer Straße		5.15	5.45		7.15		7.45	8.15	8.45	9.07	9.37	10.07	10.37	11.04	11.34		18.34	19.07
Dresden Altcotta		5.16	5.46		7.16		7.46	8.16	8.46	9.08	9.38	10.08	10.38	11.06	11.36		18.36	19.08
Dresden Flügelweg		5.17	5.47		7.17		7.47	8.17	8.47	9.10	9.40	10.10	10.40	11.08	11.38		18.38	19.10
Dresden Werftstraße		5.19	5.49		7.19		7.49	8.19	8.49	9.12	9.42	10.12	10.42	11.10	11.40		18.40	19.12
Dresden Overbeckstraße		5.20	5.50		7.20		7.50	8.20	8.50	9.13	9.43	10.13	10.43	11.11	11.41		18.41	19.13
Dresden Gewerbegebiet Kaditz		5.21	5.51		7.21		7.51	8.21	8.51	9.14	9.44	10.14	10.44	11.12	11.42		18.42	19.14
Dresden ElbePark		5.22	5.52		7.22		7.52	8.22	8.52	9.16	9.46	10.16	10.46	11.15	11.45		18.45	19.16
☐ *64 ElbePark*	ab	◆*5.22*	◆*5.52*		◆*7.22*		◆*7.52*	◆*8.22*	◆*8.52*	*9.20*	*9.50*	*10.20*	*10.49*	*11.19*	*11.49*		*18.50*	*19.20*
☐ *64 Btf Trachenberge*	an	◆*5.31*	◆*6.01*		◆*7.31*		◆*8.01*	◆*8.31*	◆*9.01*	*9.30*	*10.00*	*10.30*	*10.59*	*11.29*	*11.59*		*19.00*	*19.30*
Dresden Wächterstraße		5.23	5.53		7.23		7.53	8.23	8.53	9.17	9.47	10.17	10.47	11.16	11.46		18.46	19.17
Dresden Bunsenstraße		5.24	5.54		7.24		7.54	8.24	8.54	9.18	9.48	10.18	10.48	11.17	11.47		18.47	19.18
Dresden Rankestraße	an	5.26	5.56		7.26		7.56	8.26	8.56	9.20	9.50	10.20	10.50	11.19	11.49		18.49	19.20
Dresden Rankestraße		5.26	5.56		7.26		7.56	8.26	8.56	9.20	9.50	10.20	10.50	11.19	11.49		18.49	19.20
Dresden Am Trachauer Bahnhof		5.27	5.57		7.27		7.57	8.27	8.57	9.21	9.51	10.21	10.51	11.20	11.50		18.50	19.21
Dresden Hp Trachau		5.28	5.58		7.28		7.58	8.28	8.58	9.22	9.52	10.22	10.52	11.21	11.51		18.51	19.22
Dresden Krankenhaus Neustadt		5.29	5.59		7.29		7.59	8.29	8.59	9.23	9.53	10.23	10.53	11.22	11.52		18.52	19.23

◆ = Anschluss wird i.d.R. abgewartet

Abbildung 17: Fahrplanbuchausschnitt als Beispiel eines Anschlusses der Anschlusskategorie 2 [106]

Kategorie 3: „**nicht ausgewiesene Anschlüsse**“

Für einzelne Kunden sind Anschlüsse dieser Kategorie ebenfalls wichtig, insgesamt sind sie wünschenswert. Bei Erstellen des Fahrplanes werden diese Anschlüsse berücksichtigt, wenn dem nichts entgegensteht. In vielen Fällen entstehen sie auch zufällig. Gegenüber den Fahrgästen und dem Fahrpersonal werden sie nicht extra ausgewiesen. Sie können in der Regel durch Vergleichen mehrerer Fahrplantabellen ermittelt werden. Im planmäßigen Betrieb kommen Anschlüsse dieser Kategorie in der Regel zustande. Im unplanmäßigen Betrieb ist der Anschluss aufgrund der abgekürzten Übergangszeit gefährdet. In diesem Fall

wartet der Abbringer in der Regel nicht auf den Zubringer, wenn ihm keine zusätzliche Anweisung gegeben wird. Abbildung 18 stellt ein Beispiel dieser Kategorie zwischen den Linien 66 und 8 an der Haltestelle Hauptbahnhof in Dresden dar.

BUS **66** **(Gittersee -) Coschütz / Mockritz - Südhöhe - Hauptbahnhof - Strehlen - Prohlis - Lockwitz / Nickern**

Am 24. und 31.XII. Verkehr nach Sonderfahrplan (Frühverkehr wie Samstag). DVB-Serviceruf: 0351 / 857 10 11

ACHTUNG! Dieser Fahrplan gilt bereits ab 26.11.2011!

	MONTAG - FREITAG																							
Dresden Coschütz		11.24		11.44		12.04		12.24		12.44		13.04		13.24		13.44		14.04		14.24		14.44
Dresden Achtbeeteweg		11.24		11.44		12.04		12.24		12.44		13.04		13.24		13.44		14.04		14.24		14.44
Dresden Cunnersdorfer Straße		11.26		11.46		12.06		12.26		12.46		13.06		13.26		13.46		14.06		14.26		14.46
Dresden Dorfhainer Straße		11.28		11.48		12.08		12.28		12.48		13.08		13.28		13.48		14.08		14.28		14.48
Dresden Höckendorfer Weg		11.29		11.49		12.09		12.29		12.49		13.09		13.29		13.49		14.09		14.29		14.49
Dresden Mockritz	11.10	)	11.30	)	11.50	)	12.10	)	12.30	)	12.50	)	13.10	)	13.30	)	13.50	)	14.10	)	14.30	)
Dresden Zschertnitzer Straße	11.11	)	11.31	)	11.51	)	12.11	)	12.31	)	12.51	)	13.11	)	13.31	)	13.51	)	14.11	)	14.31	)
Dresden Wilhelm-Busch-Straße	11.12	)	11.32	)	11.52	)	12.12	)	12.32	)	12.52	)	13.12	)	13.32	)	13.52	)	14.12	)	14.32	)
Dresden Münzteichweg	11.13	)	11.33	)	11.53	)	12.13	)	12.33	)	12.53	)	13.13	)	13.33	)	13.53	)	14.13	)	14.33	)
Dresden Campingplatz Mockritz	11.14	)	11.34	)	11.54	)	12.14	)	12.34	)	12.54	)	13.14	)	13.34	)	13.54	)	14.14	)	14.34	)
Dresden Babisnauer Straße	11.15	)	11.35	)	11.55	)	12.15	)	12.35	)	12.55	)	13.15	)	13.35	)	13.55	)	14.15	)	14.35	)
Dresden Bannewitzer Straße	11.17	)	11.37	)	11.57	)	12.17	)	12.37	)	12.57	)	13.17	)	13.37	)	13.57	)	14.17	)	14.37	)
Dresden Altkaitz	11.18	)	11.38	)	11.58	)	12.18	)	12.38	)	12.58	)	13.18	)	13.38	)	13.58	)	14.18	)	14.38	)
Dresden Innsbrucker Straße	11.19	)	11.39	)	11.59	)	12.19	)	12.39	)	12.59	)	13.19	)	13.39	)	13.59	)	14.19	)	14.39	)
Dresden Südhöhe	11.20	11.30	11.40	11.50	12.00	12.10	12.20	12.30	12.40	12.50	13.00	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50
Dresden Mommsenstraße	11.22	11.32	11.42	11.52	12.02	12.12	12.22	12.32	12.42	12.52	13.02	13.12	13.22	13.32	13.42	13.52	14.02	14.12	14.22	14.32	14.42	14.52
Dresden Technische Universität	11.23	11.33	11.43	11.53	12.03	12.13	12.23	12.33	12.43	12.53	13.03	13.13	13.23	13.33	13.43	13.53	14.03	14.13	14.23	14.33	14.43	14.53
Dresden Reichenbachstraße	11.25	11.35	11.45	11.55	12.05	12.15	12.25	12.35	12.45	12.55	13.05	13.15	13.25	13.35	13.45	13.55	14.05	14.15	14.25	14.35	14.45	14.55
Dresden Hauptbahnhof	11.27	11.37	11.47	11.57	12.07	12.17	12.27	12.37	12.47	12.57	13.07	13.17	13.27	13.37	13.47	13.57	14.07	14.17	14.27	14.37	14.47	14.57
Dresden Hauptbahnhof	11.27	11.37	11.47	11.57	12.07	12.17	12.27	12.37	12.47	12.57	13.07	13.17	13.27	13.37	13.47	13.57	14.07	14.17	14.27	14.37	14.47	14.57
Dresden Uhlandstraße	11.30	11.40	11.50	12.00	12.10	12.20	12.30	12.40	12.50	13.00	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00
Dresden Strehlener Platz	11.31	11.41	11.51	12.01	12.11	12.21	12.31	12.41	12.51	13.01	13.11	13.21	13.31	13.41	13.51	14.01	14.11	14.21	14.31	14.41	14.51	15.01
DD C-D-Friedrich-Straße	11.34	11.44	11.54	12.04	12.14	12.24	12.34	12.44	12.54	13.04	13.14	13.24	13.34	13.44	13.54	14.04	14.14	14.24	14.34	14.44	14.54	15.04

Tram **8** **Südvorstadt - Hauptbahnhof - Stadtzentrum - Neustadt - Hellerau**

Am 24. und 31.XII. Verkehr nach Sonderfahrplan (Frühverkehr wie Samstag). DVB-Serviceruf: 0351 / 857 10 11

ACHTUNG! Dieser Fahrplan gilt bereits ab 26.11.2011!

	Montag - Freitag (Standard)																					
Dresden Südvorstadt						5.39		5.59	6.16	6.26	6.36	6.46	6.56	7.06	7.16		18.16	18.26	18.36	18.46	18.56	19.09
Dresden Plauen Nöthnitzer Str.					5.17	)		)	)	)	)	)	)	)	)	alle	)	)	)	)	)	)
Dresden Münchner Platz					5.18	)		)	)	)	)	)	)	)	)	10	)	)	)	)	)	)
Dresden Nürnberger Platz					m5.19	5.40		6.00	6.17	6.27	6.37	6.47	6.57	7.07	7.17	Min	18.17	18.27	18.37	18.47	18.57	19.10
Dresden Nürnberger Platz					m5.19	5.40		6.00	6.17	6.27	6.37	6.47	6.57	7.07	7.17		18.17	18.27	18.37	18.47	18.57	19.10
Dresden Reichenbachstraße					5.21	5.41		6.01	6.18	6.28	6.38	6.48	6.58	7.08	7.18		18.18	18.28	18.38	18.48	18.58	19.11
Dresden Hauptbahnhof					5.23	5.43		6.03	6.20	6.30	6.40	6.50	7.00	7.10	7.20		18.20	18.30	18.40	18.50	19.00	19.13
Dresden Hauptbahnhof Nord					5.24	5.44		6.04	6.21	6.31	6.41	6.51	7.01	7.11	7.21		18.21	18.31	18.41	18.51	19.01	19.14
Dresden Walpurgisstraße					5.25	5.45		6.05	6.22	6.32	6.42	6.52	7.02	7.12	7.22		18.22	18.32	18.42	18.52	19.02	19.15
Dresden Prager Straße					5.27	5.47		6.07	6.24	6.34	6.44	6.54	7.04	7.14	7.24		18.24	18.34	18.44	18.54	19.04	19.17

Abbildung 18: Fahrplanbuchausschnitte als Beispiel eines Anschluss der Anschlusskategorie 3 [107]

Kategorie 4: „**spontan entstehende Umsteigebeziehungen**“

Für diese Kategorie wird nicht wie für die anderen Kategorien der Begriff „Anschlüsse“ angewandt, sondern „Umsteigebeziehungen“. Die Umsteigebeziehung bezeichnet eine Umsteigemöglichkeit zwischen zwei Fahrten, deren zeitliche Lage bei planmäßigem Betrieb das Umsteigen in der Regel nicht ermöglicht. Das heißt, die Umsteigemöglichkeiten aus dieser Kategorie kommen im planmäßigen Betrieb nicht zustande und werden im Fahrplan nicht vorgesehen. Im planmäßigen Betrieb enthält diese Kategorie die Umsteigebeziehungen in den folgenden Fällen.

- Die Übergangszeit ist positiv aber so kurz, dass sie bei der Mehrheit der Fahrgäste für das Zurücklegen des Übergangsweges von Zubringer zu Abbringer nicht ausreichend ist.

- Der Zubringer kommt noch später an, so dass die Übergangszeit negativ ist.

Eine Umsteigemöglichkeit dieser Kategorie entsteht meist bei unplanmäßigem Betrieb. Ein Beispiel zeigt Abbildung 19. Bei planmäßigem Betrieb kommt der Bus der Linie 66 eine Minute eher als die Straßenbahn Linie 7 an. Die Zeit für das Zurücklegen des Übergangswegs von der Bushaltestelle zur Straßenbahnhaltestelle ist größer als eine Minute. Deswegen müssen die Fahrgäste bei planmäßigem Betrieb auf die nächste Bahn warten.

BUS **66** **(Gittersee -) Coschütz / Mockritz - Südhöhe - Hauptbahnhof - Strehlen - Prohlis - Lockwitz / Nickern**

Am 24. und 31.XII. Verkehr nach Sonderfahrplan (Frühverkehr wie Samstag). DVB-Serviceruf: 0351 / 857 10 11

ACHTUNG! Dieser Fahrplan gilt bereits ab 26.11.2011!

	MONTAG - FREITAG																							
Dresden Coschütz		11.24		11.44		12.04		12.24		12.44		13.04		13.24		13.44		14.04		14.24		14.44
Dresden Achtbeeteweg		11.24		11.44		12.04		12.24		12.44		13.04		13.24		13.44		14.04		14.24		14.44
Dresden Cunnersdorfer Straße		11.26		11.46		12.06		12.26		12.46		13.06		13.26		13.46		14.06		14.26		14.46
Dresden Dorfhainer Straße		11.28		11.48		12.08		12.28		12.48		13.08		13.28		13.48		14.08		14.28		14.48
Dresden Höckendorfer Weg		11.29		11.49		12.09		12.29		12.49		13.09		13.29		13.49		14.09		14.29		14.49
Dresden Mockritz	11.10		11.30		11.50		12.10		12.30		12.50		13.10		13.30		13.50		14.10		14.30	
Dresden Zschertnitzer Straße	11.11		11.31		11.51		12.11		12.31		12.51		13.11		13.31		13.51		14.11		14.31	
Dresden Wilhelm-Busch-Straße	11.12		11.32		11.52		12.12		12.32		12.52		13.12		13.32		13.52		14.12		14.32	
Dresden Münzteichweg	11.13		11.33		11.53		12.13		12.33		12.53		13.13		13.33		13.53		14.13		14.33	
Dresden Campingplatz Mockritz	11.14		11.34		11.54		12.14		12.34		12.54		13.14		13.34		13.54		14.14		14.34	
Dresden Babisnauer Straße	11.15		11.35		11.55		12.15		12.35		12.55		13.15		13.35		13.55		14.15		14.35	
Dresden Bannewitzer Straße	11.17		11.37		11.57		12.17		12.37		12.57		13.17		13.37		13.57		14.17		14.37	
Dresden Altkaitz	11.18		11.38		11.58		12.18		12.38		12.58		13.18		13.38		13.58		14.18		14.38	
Dresden Innsbrucker Straße	11.19		11.39		11.59		12.19		12.39		12.59		13.19		13.39		13.59		14.19		14.39	
Dresden Südhöhe	11.20	11.30	11.40	11.50	12.00	12.10	12.20	12.30	12.40	12.50	13.00	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50
Dresden Mommsenstraße	11.22	11.32	11.42	11.52	12.02	12.12	12.22	12.32	12.42	12.52	13.02	13.12	13.22	13.32	13.42	13.52	14.02	14.12	14.22	14.32	14.42	14.52
Dresden Technische Universität	11.23	11.33	11.43	11.53	12.03	12.13	12.23	12.33	12.43	12.53	13.03	13.13	13.23	13.33	13.43	13.53	14.03	14.13	14.23	14.33	14.43	14.53
Dresden Reichenbachstraße	11.25	11.35	11.45	11.55	12.05	12.15	12.25	12.35	12.45	12.55	13.05	13.15	13.25	13.35	13.45	13.55	14.05	14.15	14.25	14.35	14.45	14.55
Dresden Hauptbahnhof	11.27	11.37	11.47	11.57	12.07	12.17	12.27	12.37	12.47	12.57	13.07	13.17	13.27	13.37	13.47	13.57	14.07	14.17	14.27	14.37	14.47	14.57
Dresden Hauptbahnhof	11.27	11.37	11.47	11.57	12.07	12.17	12.27	12.37	12.47	12.57	13.07	13.17	13.27	13.37	13.47	13.57	14.07	14.17	14.27	14.37	14.47	14.57
Dresden Uhlandstraße	11.30	11.40	11.50	12.00	12.10	12.20	12.30	12.40	12.50	13.00	13.10	13.20	13.30	13.40	13.50	14.00	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.00
Dresden Strehlener Platz	11.31	11.41	11.51	12.01	12.11	12.21	12.31	12.41	12.51	13.01	13.11	13.21	13.31	13.41	13.51	14.01	14.11	14.21	14.31	14.41	14.51	15.01
DD C-D-Friedrich-Straße	11.34	11.44	11.54	12.04	12.14	12.24	12.34	12.44	12.54	13.04	13.14	13.24	13.34	13.44	13.54	14.04	14.14	14.24	14.34	14.44	14.54	15.04

Tram **7** **Pennrich - Gorbitz - Wölfnitz - Löbtau - Hauptbahnhof - Stadtzentrum - Neustadt - Klotzsche - Weixdorf**

GuteNachtLinie

Am 24. und 31.XII. Verkehr nach Sonderfahrplan (Frühverkehr wie Samstag). DVB-Serviceruf: 0351 / 857 10 11

ACHTUNG! Dieser Fahrplan gilt bereits ab 26.11.2011!

	Montag - Freitag (Standard)																					
Pennrich Gleisschleife	7.42	7.52		17.52	18.03	18.13	18.23	18.33	18.43	18.53	19.03	19.17	19.32	19.47	20.02		22.02	22.31	23.01		0.31	0.49
Gompitz Gompitzer Höhe (1)	7.43	7.53		17.53	18.04	18.14	18.24	18.34	18.44	18.54	19.04	19.18	19.33	19.48	20.03		22.03	22.32	23.02		0.32	0.50
Gompitz Rudolf-Walther-Straße	7.44	7.54		17.54	18.05	18.15	18.25	18.35	18.45	18.55	19.05	19.19	19.34	19.49	20.04		22.04	22.33	23.03		0.33	0.51
Dresden Altnossener Straße	7.45	7.55		17.55	18.06	18.16	18.26	18.36	18.46	18.56	19.06	19.20	19.35	19.50	20.05		22.05	22.34	23.04		0.34	0.52
Dresden Betriebshof Gorbitz	7.48	7.58		17.58	18.09	18.19	18.29	18.39	18.49	18.59	19.09	19.23	19.38	19.53	20.08		22.08	22.36	23.06		0.36	0.54
Dresden Schlehenstraße	7.49	7.59	alle	17.59	18.10	18.20	18.30	18.40	18.50	19.00	19.10	19.24	19.39	19.54	20.09		22.09	22.37	23.07		0.37	0.55
Dresden Kirschenstraße	7.50	8.00	10	18.00	18.11	18.21	18.31	18.41	18.51	19.01	19.11	19.25	19.40	19.55	20.10		22.10	22.38	23.08		0.38	0.56
Dresden Merianplatz	7.51	8.01	Min	18.01	18.12	18.22	18.32	18.42	18.52	19.02	19.12	19.26	19.41	19.56	20.11		22.11	22.39	23.09		0.39	0.57
Dresden Amalie-Dietrich-Platz	7.53	8.03		18.03	18.14	18.24	18.34	18.44	18.54	19.04	19.14	19.28	19.43	19.58	20.13		22.13	22.41	23.11		0.41	0.59
Dresden Julius-Vahlteich-Str.	7.54	8.04		18.04	18.15	18.25	18.35	18.45	18.55	19.05	19.15	19.29	19.44	19.59	20.14		22.14	22.42	23.12		0.42	1.00
Dresden Koblenzer Straße	7.55	8.05		18.05	18.16	18.26	18.36	18.46	18.56	19.06	19.16	19.30	19.45	20.00	20.15		22.15	22.43	23.13		0.43	1.01
Dresden Malterstraße	7.56	8.06		18.06	18.17	18.27	18.37	18.47	18.57	19.07	19.17	19.31	19.46	20.01	20.16		22.16	22.44	23.14		0.44	1.02
Dresden Bünaustraße	7.58	8.08		18.08	18.19	18.29	18.39	18.49	18.59	19.09	19.19	19.33	19.48	20.03	20.18		22.18	22.46	23.16		0.46	1.04
Dresden Tharandter Straße	8.00	8.10		18.10	18.21	18.31	18.41	18.51	19.01	19.11	19.21	19.35	19.50	20.05	20.20		22.20	22.47	23.17		0.47	1.05
Dresden Oederaner Straße	8.02	8.12		18.12	18.22	18.32	18.42	18.52	19.02	19.12	19.22	19.36	19.51	20.06	20.21		22.21	22.48	23.18		0.48	1.06
Dresden Rosenstraße	8.03	8.13		18.13	18.23	18.33	18.43	18.53	19.03	19.13	19.23	19.37	19.52	20.07	20.22		22.22	22.49	23.19		0.49	1.07
Dresden Hp Freiberger Straße	8.04	8.14		18.14	18.24	18.34	18.44	18.54	19.04	19.14	19.24	19.38	19.53	20.08	20.23		22.23	22.50	23.20		0.50	w1.09
Dresden Budapester Straße	8.06	8.16		18.16	18.26	18.36	18.46	18.56	19.06	19.16	19.26	19.40	19.55	20.10	20.25		22.25	22.52	23.22		0.52	
Dresden Hauptbahnhof	8.08	8.18		18.18	18.28	18.38	18.48	18.58	19.08	19.18	19.28	19.42	19.57	20.12	20.27		22.27	22.54	23.24		0.54	
Dresden Hauptbahnhof Nord	8.09	8.19		18.19	18.29	18.39	18.49	18.59	19.09	19.19	19.29	19.43	19.58	20.13	20.28		22.28	22.55	23.25		0.55	
Dresden Walpurgisstraße	8.10	8.20		18.20	18.30	18.40	18.50	19.00	19.10	19.20	19.30	19.44	19.59	20.14	20.29		22.29	22.56	23.26		0.56	

Abbildung 19: Fahrplanbuchausschnitte für eine Umsteigebeziehung der Anschlusskategorie 4 [107]

Das zu entwickelnde Verfahren soll die Verlässlichkeit grundlegend erhöhen, deshalb sollen auch Anschlüsse der geringeren Kategorien 3 beziehungsweise Umsteigebeziehungen der Kategorie 4 in die Anschlusssicherung einbezogen werden. Um die Pünktlichkeit und Stabilität des Betriebs nicht zu gefährden, bedarf es dazu eine fahrtkonkrete Prüfung. Die Merkmale der Anschlüsse der vier definierten Kategorien werden in Anlehnung an [FGSV04] in Tabelle 10 dargestellt.

Merkmal	Anschlusskategorie			
	1	2	3	4
Anschluss garantiert	ja	nein	nein	nein
Anschluss vorgeplant	ja	ja	nein	nein
Anschluss unterliegt einem Anschluss-(sicherungs) konzept	ja	ja	ja	ja
Anschluss kommt im planmäßigen Betrieb zustande	ja	ja	ja	nein
Zustandekommen bei unplanmäßigem Betrieb	zu prüfen	zu prüfen	zu prüfen	zu prüfen
Anschluss wird in Fahrplan ausgewiesen	ja	ja	nein	nein
Anschluss wird dem Fahrpersonal mitgeteilt	ja	ja	nach Prüfergebnis	nach Prüfergebnis
Anschluss wird den Fahrgästen mitgeteilt	ja	ja	nach Prüfergebnis	nach Prüfergebnis

Tabelle 10: Merkmale der Anschlusskategorien

Die gewählte Zuordnung der Anschlüsse zu den vier Anschlusskategorien bestätigt in großem Umfang die Einteilung nach dem Arbeitspapier Nummer 64 von FGSV [18]. Das trifft insbesondere auf ihr Zustandekommen zu. Unterschiede bestehen allerdings in ihrer betrieblichen Behandlung.

Hinsichtlich des Zustandekommens stimmen die Kategorie 1 und 2 überein. Die Kategorie 3 wurde weiterentwickelt, da in dichten und vermaschten Netzen eine Vielzahl an Anschlüssen entsteht, die bei Fahrplanerstellung nicht fest eingeplant waren. Diese werden den Kunden durch elektronische Fahrplanauskünfte auch kommuniziert. Insofern erfordert das Vorsehen eines Anschlusses keine Absicht des Planers, das Zustandekommen bei planmäßigem Betrieb reicht allein aus. Die Anschlusskategorie 4 wird inhaltlich ergänzt. Sie enthält damit nicht nur Umsteigemöglichkeiten mit zu kurzer Übergangszeit sondern auch solche mit negativer Übergangszeit. Damit wird der Möglichkeit, mit moderner Technik Fahrplan zunehmend genauer zu erstellen, einzuhalten und wahrzunehmen, Rechnung getragen.

Bei der betrieblichen Behandlung, insbesondere bei unplanmäßigem Betrieb, ist eine Weiterentwicklung dagegen sinnvoll und nötig. Das Arbeitspapier Nummer 64 von FGSV hat ein Alter von sieben Jahren und beschreibt den damaligen Zustand. Heute haben die Kunden höhere Ansprüche und die Unternehmen bessere technische Möglichkeiten. Entscheidend für diese Arbeit ist jedoch, dass eine große Verbesserung der Handhabung angestrebt wird.

Die Entwicklung der Internettechnik ermöglicht, dass die Kunden ihre Verbindungen über elektronische Auskunftssysteme errechnen lassen. Die Verbindungsvorschläge enthalten auch die Umsteigemöglichkeiten. Diese werden aber sehr unterschiedlich präsentiert. Zunehmend werden die Anschlüsse der Kategorien 1 und 2 extra mit „Anschluss“ oder „knapper Anschluss – wird in der Regel abgewartet“ gekennzeichnet. Solche Hinweise sind für weniger wichtige Anschlüsse wie aus Kategorie 3 nicht üblich. Der in Abbildung 20 als Auszug aus dem Fahrplanheft dargestellte Anschluss wird in der elektronischen Auskunft gemäß Abbildung 20 dargestellt [108].

Abbildung 20: Ausschnitt einer Online-Verbindung von Linie 80 zu Linie 64 in Dresden als Beispiel eines Anschlusses der Kategorie 2 [108]

Allerdings werden Anschlüsse über elektronische Auskunftssysteme und in Fahrplanbüchern oft unterschiedlich präsentiert. Dies zeigen sowohl Beispiele aus Dresden als auch aus Leipzig.

In Dresden wurde ein knapper Anschluss zwischen zwei Buslinien, wie in Abbildung 21 dargestellt, extra ausgewiesen. Diese Information wird jedoch in den Fahrplantabellen der beiden Linien nicht bekannt gegeben ([109] und [111]). Ein anderes Beispiel ist ein Anschluss zwischen der Buslinie 86 und der Straßenbahnlinie 16 in Leipzig. Obwohl der Anschluss im Fahrplanbuch der Linie 86 extra ausgewiesen ist [112], wird diese Information bei elektronischem Auskunftssystem den Kunden nicht bekannt gegeben [113].

Abfahrt am: Sa, 16.07.2011 um 23:00 Uhr

Verbindungen - Übersicht

		Abfahrt	Ankunft	Dauer	Umsteigen	Preisstufe
Erste		früher				
3. Fahrt		23:00	23:33	00:33	2	Preisstufe 1
23:00	ab	Dresden Spenerstraße Stadtplan als PDF		BUS	**Stadtbus 63** Richtung Dresden Löbtau Linienänderungen!	
23:05	an	Dresden Hp Strehlen Stadtplan als PDF				
					Knapper Anschluss - wird in der Regel abgewartet.	
23:05	ab	Dresden Hp Strehlen Stadtplan als PDF		BUS	**Stadtbus 61** Richtung Dresden Löbtau Linienänderungen!	
23:19	an	Dresden Tharandter Straße				

Abbildung 21: Ausschnitt einer Online-Verbindung Linie 63 zu Linie 61 in Dresden als Beispiel eines ausgewiesenen Anschlusses [110]

86 BMW Werk (- Gottscheina - Hohenheida) - Seehausen - Bf. Messe

Verkehrshinweise	Montag - Freitag														
BMW Werk Tor 1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Ferag	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Future Electronics	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
BMW Werk Zentralgebäude	.....	5.23	.....	6.22	.....	7.22	.....	8.22	.....	9.22	.....	10.22	10.52	11.22	11.5
Gottscheina, Siedlung	.....		5.54		6.54		7.54		8.51		9.51				
Gottscheina, Am Ring	.....		5.55		6.55		7.55		8.52		9.52				
Hohenheida, Am Anger	4.37		5.58		6.58		7.58		8.55		9.55				
Hohenheida, Gasthof	4.38		5.59		6.59		7.59		8.56		9.56				
Hohenheida, Lindengasse	4.39	5.27	6.00	6.27	7.00	7.27	8.00	8.27	8.57	9.27	9.57	10.27	10.57	11.27	11.5
Göbschelwitz	4.41	5.29	6.02	6.29	7.02	7.29	8.02	8.29	8.59	9.29	9.59	10.29	10.59	11.29	11.5
Seehausen, Alte Mühle	4.43	5.31	6.04	6.31	7.04	7.31	8.04	8.31	9.01	9.31	10.01	10.31	11.01	11.31	12.0
Gut Seehausen	4.44	5.32	6.05	6.32	7.05	7.32	8.05	8.32	9.02	9.32	10.02	10.32	11.02	11.32	12.0
Seehausen, Schule	4.45	5.33	6.06	6.33	7.06	7.33	8.06	8.33	9.03	9.33	10.03	10.33	11.03	11.33	12.0
Einfahrt Sachsenpark	4.46	5.34	6.07	6.34	7.07	7.34	8.07	8.34	9.04	9.34	10.04	10.34	11.04	11.34	12.0
Einfahrt Sachsenpark									9.05		10.05		11.05		12.0
Sachsenpark									9.06		10.06		11.06		12.0
Pelzgasse									9.07		10.07		11.07		12.0
Seehausen, Allee, Messegelände									9.08		10.08		11.08		12.0
Messegelände	4.48	5.36	6.09	6.36	7.09	7.36	8.09	8.36	9.09	9.36	10.09	10.36	11.09	11.36	12.0
Linie 16 nach Hbf/Lößnig ab	*4.53*	*5.38*	*6.12*	*6.42*	*7.12*	*7.42*	*8.12*	*8.42*	*9.12*	*9.42*	*10.12*	*10.42*	*11.12*	*11.42*	*12.1*
Bf. Messe	4.50	5.38	6.11	6.38	7.11	7.38	8.11	8.38	9.11	9.38	10.11	10.38	11.11	11.38	12.1

Abbildung 22: Fahrplanbuchausschnitt der Linie 86 in Leipzig als Beispiel eines ausgewiesenen Anschlusses [112]

Verbindungsübersicht

	Bahnhof/Haltestelle	Datum	Uhrzeit	Entf./Dauer	Umst.	Verkehrsmittel
			Frühere Verbindung			
Von:	04356 Leipzig-Seehausen, An der Alten Mühle 1	Do, 11.08.11	Ab: 05:23	00:51h	1	
Nach:	Leipzig, Lößnig		An: 06:14			
Linie						Bemerkungen
	04356 Leipzig-Seehausen, An der Alten Mühle 1	Do, 11.08.11		282m, ca. 00:08h		
	Leipzig, Alte Mühle					
86	Leipzig, Alte Mühle Richtung: Leipzig, Bf. Messe	Do, 11.08.11	Ab: 05:31	00:05h 4 Stationen		
	Leipzig, Messegelände		An: 05:36			
16	Leipzig, Messegelände Richtung: Leipzig, Lößnig	Do, 11.08.11	Ab: 05:38	00:36h 25 Stationen		
	Leipzig, Lößnig		An: 06:14			

Abbildung 23: Ausschnitt einer Online-Verbindung von Linie 86 zu Linie 16 in Leipzig [113]

Offensichtlich wird in verschiedenen Medien unterschiedlich vorgegangen. Das soll an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden. Aus Sicht der Kunden sollte aber an einer einheitlichen Darstellung gearbeitet werden.

4.2.1.3 Sonderregelungen

In der Praxis des städtischen öffentlichen Personennahverkehrs ist üblich, im Liniennetz oder Verkehrsangebot Besonderheiten aus infrastrukturellen, verkehrsplanerischen oder verkehrsbetrieblichen Gründen zu verstecken.

Bei unplanmäßigem Betrieb können die Besonderheiten gegebenenfalls nicht eingehalten werden. Dann ist es notwendig, sie durch vorgegebene Regelungen zu sichern. Das soll ein kleines Beispiel erklären. Abbildung 24 zeigt eine Tangentiallinie A und eine Durchmesserlinie B eines Straßenbahnnetzes. Die beiden Linien haben eine gemeinsame Strecke. Die Linie A fährt am Rand des Stadtzentrums vorbei und die Linie B fährt durch das Stadtzentrum. Auf der gemeinsamen Strecke bietet die Infrastruktur keine direkte Umsteigemöglichkeit für die Fahrgäste in Form einer Doppelhaltestelle. Deshalb ordnet sich die Linie A kurz vor der Linie B in die gemeinsame Strecke ein. Damit wird eine günstige Anschlussmöglichkeit für die Fahrgäste der Linie A, die in das Stadtzentrum gelangen möchten, geschaffen. Bei unplanmäßigem Betrieb wird die richtige Reihenfolge gefährdet. Dieses Problem kann durch Vorgabe einer Sonderregelung „Linie A vor Linie B“ an dem

LSA-geregelten Anfangspunkt der gemeinsamen Strecke gelöst werden, wenn sich die Fahrzeuge der beiden Linien gleichzeitig den Knoten nähern.

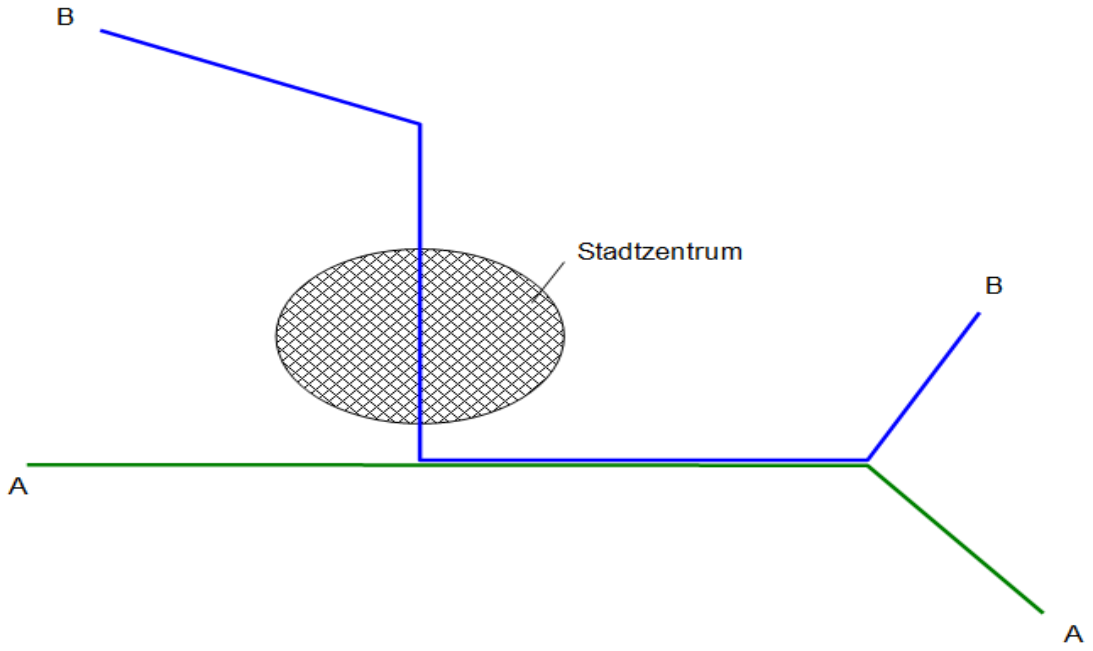


Abbildung 24: Beispiel eines Straßenbahnnetzes

Ein anderes Beispiel für Sonderregelungen ist die Bedeutung einer Fahrt. Interessant sind insbesondere Fahrten bei besonderen Situationen, beispielsweise eine einrückende Fahrt, eine letzte Fahrt vor einer Umleitung oder eine Fahrt mit einer herausragenden verkehrlichen Bedeutung. Eine einrückende Fahrt kann unter Umständen bei einer Freigabeanforderung gegenüber anderen Fahrten zurückgestuft werden. Eine letzte Fahrt sollte als wichtige Fahrt länger als bei normalen Situationen auf Anschlussfahrten warten dürfen, eine sehr bedeutsame Fahrt sollte besonders pünktlich verkehren.

Derartige Sonderregelungen sollten bei der Anpassung des Algorithmus für jeden Knoten geprüft und ergänzt werden.

4.2.2 Betriebliche Randbedingungen

4.2.2.1 Zeitreserven im Umlauf

Verspätungen können dann und nur dann abgebaut werden, wenn Zeitreserven zur Verfügung stehen. Zeitreserven in der Beförderungszeit oder in der Synchronisationszeit – auch Anschlusssicherungszeit genannt – gestatten, Verspätungen während einer Fahrt zu verringern. Ausreichende Reserven am Endpunkt ermöglichen, die folgende Fahrt pünktlich anzutreten. Zeitreserven bei der Anschlussgewährung dämpfen schließlich die Folgeverspätung des Abbringers bei verspätetem Zubringer.

- **Beförderungszeitzuschläge**

Die Beförderungszeitzuschläge liegen je nach Schwankung der Fahr-, Fahrgastwechsel- und Behinderungszeiten in einer Größenordnung von 5…25% der Mindestbeförderungszeit. Die kleineren Werte werden nur erreicht, wenn die Fahrt weitestgehend behinderungsfrei verläuft oder bei jeder Fahrt auftretende Behinderungszeiten vorab aus den Beförderungszeitzuschlägen herausgenommen und der Mindestbeförderungszeit zugeschlagen wurden.

Grundsätzlich führen zu knapp errechnete Beförderungszeitzuschläge zu Verspätungen und überdimensionierte zu Verfrühungen oder Bummelfahrten. Deshalb sollten sie so dimensioniert werden, dass sie für die Mehrzahl der Fahrten ausreichen. Gelingt es, Behinderungszeiten zu senken, kann die gewonnene Zeit zum Reduzieren der Zuschläge oder zum Gewährleisten von Anschlüssen genutzt werden. Letzteres sollte jedoch nicht im Vorgriff getan werden, da die konkrete Situation im späteren Fahrtverlauf noch nicht bekannt ist. Deshalb werden Beförderungszeitzuschläge im Weiteren zum Gewähren der Anschlüsse aufgezehrt.

- **Synchronisations- / Anschlusssicherungszeit**

Sofern Synchronisations- oder Anschlusssicherungszeiten geplant sind, können sie ebenfalls zum Verspätungsausgleich genutzt werden, falls sie nicht oder nicht in voller Höhe zur Anschlussgewährung benötigt werden.

- **Zeitreserven in der Wendezeit**

Gemäß 2.2.2.3 beinhaltet die Mindestwendezeit im Umlauf eine erste Zeitreserve zum Ausgleich eventueller Verspätungen der vorher abgeleisteten Fahrt(en), die in Abhängigkeit

der beabsichtigten Qualität festgesetzt wurde. Die Mindestwendezeit im Umlauf wird zweckmäßig auf beide Endpunkte aufgeteilt und in der Regel so aufgerundet, dass die Umlaufzeit ohne Rest durch die Taktzeit teilbar ist. Damit entsteht meist die zweite Zeitreserve. Da die Wendezeit auch anderen Aufgaben dient, sind die Zeitreserven allerdings nicht immer vorhanden.

In Anlehnung an die Wendezeitdefinition von Zistel [52] lässt sich die Zeitreserve in der Wendezeit über den Abzug der Zeitbestandteile für die technischen und humanen Aufgaben der Wendezeit von der Gesamtwendezeit ermitteln. Dabei ist für jede Endstelle separat zu rechnen.

$$t_{Reserve,Wen,i} = t_{Wen,i} - t_{Wen,Techno,i} - t_{Wen,Human,i}$$ Formel (5-1)

$t_{Reserve,Wen,i}$	Zeitreserve in der Wendezeit an einer Endstelle der Fahrt i	[s]
$t_{Wen,i}$	Wendezeit an einer Endstelle der Fahrt i	[s]
$t_{Wen,Techno,i}$	Wendezeitanteil für technologische Aufgaben an einer Endstelle der Fahrt i …….....[s]	
$t_{Wen,Human,i}$	Wendezeitanteil für humane Aufgaben an einer Endstelle der Fahrt i	[s]

4.2.2.2 Zeitreserven bei der Anschlussgewährung

Zeitreserven bei der Anschlussgewährung lassen sich grundsätzlich ermitteln, in dem zunächst die Ankunftszeit des Zubringers von der Ankunftszeit des Abbringers subtrahiert wird und dieser Differenz die Zeit für das Zurücklegen des Übergangswegs des langsamsten Umsteigers sowie die Aussteigezeit der Fahrgäste des Zubringers abgezogen wird.

$$t_{Reserve,Ans} = T_{an,Ab} - T_{an,Zu} - t_{aus,Zu} - t_{ü,ZuAb}$$ Formel (5-2)

$t_{Reserve,Ans}$	Zeitreserve bei der Gewährung eines Anschlusses	[s]
$T_{an,Ab}$	Ankunftszeit des Abbringers	[hh:mm:ss]
$T_{an,Zu}$	Ankunftszeit des Zubringers	[hh:mm:ss]
$t_{aus,Zu}$	Aussteigezeit der Fahrgäste des Zubringers	[s]
$t_{ü,ZuAb}$	Zeit für das Zurücklegen des Übergangswegs	[s]

Im Detail können allerdings gegebenenfalls weitere Reserven erschlossen werden:

- In der Regel bemühen sich Umsteiger, als erste Fahrgäste auszusteigen, damit wird die Aussteigezeit beim Zubringer nicht voll benötigt.
- In der Regel sind die Umsteiger bestrebt die Zeit für das Zurücklegen des Übergangswegs durch zügiges Gehen zu verkürzen.
- In ausgewählten Fällen können das die Verkehrsunternehmen durch geschicktes Auswählen der Halteplätze unterstützen.
- Meist steht zusätzlich die Fahrgastwechselzeit der Fahrgäste des Abbringers zur Verfügung.

4.2.2.3 Zulässige Wartezeit

Um einen Anschluss zu sichern, muss ein Abbringer unter Umständen über seine planmäßige Abfahrtszeit hinaus warten. Das verursacht zusätzliche Verspätung. In der Unternehmensbefragung haben 20 Unternehmen angegeben, dass eine maximale Wartezeit vorab festgelegt wird. Die meisten Werte liegen zwischen 2 und 5 Minuten. Gleichzeitig geben 10 der 20 sowie 12 weitere Unternehmen an, dass die tatsächliche Wartezeit von der konkreten betrieblichen Situation beeinflusst wird.

Grundsätzlich erscheint es für die Anschlussgewährung sinnvoll, eine maximal zulässige Wartezeit vorab festzulegen, um ein zu langes Warten auszuschließen und den Zuwachs an Verspätung des Abbringers zu begrenzen. Es ist jedoch nicht sinnvoll, die maximal zulässige Wartezeit als Pauschalwert zu definieren, der von der konkreten betrieblichen Situation unabhängig ist. Besser ist eine Lösung, bei der die Wartezeit sowohl von der aktuellen Fahrplanlage als auch von der planmäßigen Zugfolgezeit des Abbringers abhängig ist. Die aktuelle Fahrplanlage spiegelt die Abweichung zum Soll-Fahrplan wider. Die planmäßige Zugfolgezeit des Abbringers stellt die maximal mögliche Wartezeit der Umsteiger dar, wenn sie den Anschluss gerade verpassen würden. Verkehrt nur eine Linie als Abbringer, kann die planmäßige Zugfolgezeit durch die Taktzeit ersetzt werden, bei mehreren Linien gilt die Zugfolgezeit zwischen den Fahrten, die überwiegend den gleichen Verkehrsstrom bedienen. Das trifft auch zu, wenn es sich dabei um wechselnde Zugfolgezeiten handeln.

Das zu entwickelnde Verfahren der Anschlusssicherung soll für alle Anschlüsse allgemein gültig sein. Da die Anschlüsse in mehrere Anschlusskategorien unterteilt wurden, sollen auch

verschiedene Wartezeiten ermittelt werden. Bei wichtigen Anschlüssen sollte der Abbringer länger als bei normalen Anschlüssen warten dürfen. Garantierte Anschlüsse müssen wiederum anders behandelt werden. Bei ausgewählten Anschlüssen ist eine Synchronisationszeit eingeplant. Dann muss der Abbringer bei planmäßigem Betrieb eine Mindestwartezeit in Höhe der Synchronisationszeit erhalten.

Aus diesen Überlegungen ist die maximal zulässige Wartezeit eines öffentlichen Verkehrsmittels nach folgender Formel zu ermitteln.

$$t_{w,max} = t_{Syn} + c_K \cdot c_W \cdot t_{Zugfolge,plan} - t_{Fpl,an} \qquad \text{Formel (5-3)}$$

$t_{w,max}$	maximal zulässige Wartezeit eines öffentlichen Verkehrsmittels aufgrund der Anschlussgewährung	
t_{Syn}	Synchronisationszeit	[s]
c_K	Wichtungsfaktor wegen der Anschlusskategorie	[-]
c_W	Aufwandswert der maximal zulässigen Wartezeit	[-]
$t_{Zugfolge,plan}$	Planmäßige Zugfolgezeit	[s]
$t_{Fpl,an}$	Fahrplanlage bei Ankunft	[s]

Um sinnvolle Erfahrungswerte für c_K und c_W zu ermitteln, wurden die maximal zulässigen Wartezeiten bei planmäßigem Betrieb ohne Synchronisationszeit über Kombinationen der beiden Kenngrößen für typische Verhältnisse und verschiedene in der Praxis häufig angewandte Taktzeiten berechnet. Tabellarisch zeigt Anhang 3 die Ergebnisse. In Tabelle 11 sind sinnvolle Werte für c_K und c_W enthalten. Diese Werte können in den Unternehmen selbstverständlich nach den konkreten Situationen ausgewählt und angepasst werden.

Anschlusskategorie	c_K	c_W
1	3	0,05 … 0,15
2	2	
3	1	
4	1	

Tabelle 11: sinnvolle Erfahrungswerte für c_K und c_W

Das Produkt von c_K und c_W sollte 0,5 nicht überschreiten, damit ein Fahrzeug im Allgemeinen nicht länger als die halbe Zugfolgezeit warten muss. Lediglich bei Verfrühung oder Vorhandensein einer Synchronisationszeit verlängert sich die Wartezeit um die Dauer dieser Zeiten. Bei Verspätung wird die Wartezeit um das Maß der Verspätung verkürzt. Je größer die Verspätung ist, desto kürzer darf das Fahrzeug warten, damit der pünktliche Betrieb nicht

unnötig beeinträchtigt wird. Bei großen Zugfolgezeiten kann den Fahrgästen im Fahrzeug oder an den nachfolgenden Haltestellen eine Wartezeit in Höhe der halben Zugfolgezeit keinesfalls zugemutet werden. Anderseits ist dann aber auch der Anschlussverlust besonders schmerzlich. Ideal wäre, in einem solchen Fall sehr viele Informationen über die Zahl und die Alternativen der unterschiedlichen Betroffenen zu besitzen. Das ist in der Regel nicht der Fall, deshalb werden die in Tabelle 11 vorgeschlagen Werte empfohlen.

Außerdem passt der Ansatz auch zur Besetzung der Fahrzeuge bei Verspätung (siehe Kapitel 2.2.2.7). Je größer die Verspätung ist, umso stärker ist das erste Fahrzeug besetzt und umso weniger das nächste. Es ist dann insbesondere bei kleinem Takt sinnvoll, das erste stark verspätete Fahrzeug fahren zu lassen und die Fahrgäste auf das zweite weniger belastete Fahrzeug zu verweisen.

Theoretisch kann in der Formel die planmäßige Zugfolgezeit $t_{Zugfolge,plan}$ durch die tatsächliche Zugfolgezeit ersetzt werden, welche in der Praxis mit der heute verfügbaren Technik ermittelt werden kann. Der Vorteil ist, dass die maximal mögliche Wartezeit der Umsteiger besser nachgebildet werden kann. Auf die Größe der tatsächlichen Zugfolgezeit hat jedoch sowohl die Fahrplanlage der ersten Fahrt als auch die der nächsten Fahrt eine Wirkung. Das kann dazu führen, dass die zulässige Wartezeit des ersten Fahrzeuges von der Fahrplanlage des folgenden Fahrzeuges verfälscht wird. Die Fahrplanlage des Folgezugs kann sich aber im weiteren Fahrtverlauf durch Verfrühungs- oder Verspätungsabbau ändern. Aus diesem Grund wird die maximal zulässige Wartezeit eines Fahrzeuges anhand der planmäßigen Zugfolgezeit errechnet.

Allerdings soll die Bedeutung der Ist-Zugfolgezeit in diesem Verfahren nicht verloren gehen. Sie soll bei ungünstigen Betriebszuständen genutzt werden. Das kann beispielsweise interessant sein, wenn es sich wegen einer Betriebsstörung um einen vorerst letzten Abbringer handelt. Dann sollte eine längere Wartezeit zugeordnet werden, damit mehr umsteigende Fahrgäste von anderen Linien mitgenommen werden können, um extrem lange Wartezeiten zu vermeiden.

4.2.2.4 Zulässige Verspätung

Trotz Anschlusssicherung muss die Stabilität des Betriebs erhalten bleiben. Das Warten eines Abbringers verursacht jedoch zusätzliche Verspätung. Daher ist es sinnvoll, nicht nur die Wartezeit des Abbringers sondern auch dessen Verspätung zu betrachten.

Nach allgemeiner Erfahrung steigt die Besetzung der Fahrzeuge auf dem Weg zum Stadtzentrum mit jeder Haltestelle an und geht mit zunehmender Entfernung vom Stadtzentrum wieder zurück. Das bestätigen Rüger [41] und Reinhardt [42] sowie eigene Untersuchungen [28]. Allerdings führen einzelne städtische Infrastrukturbesonderheiten, wie große Arbeitgeber oder Schulzentren, zu Ausnahmen.

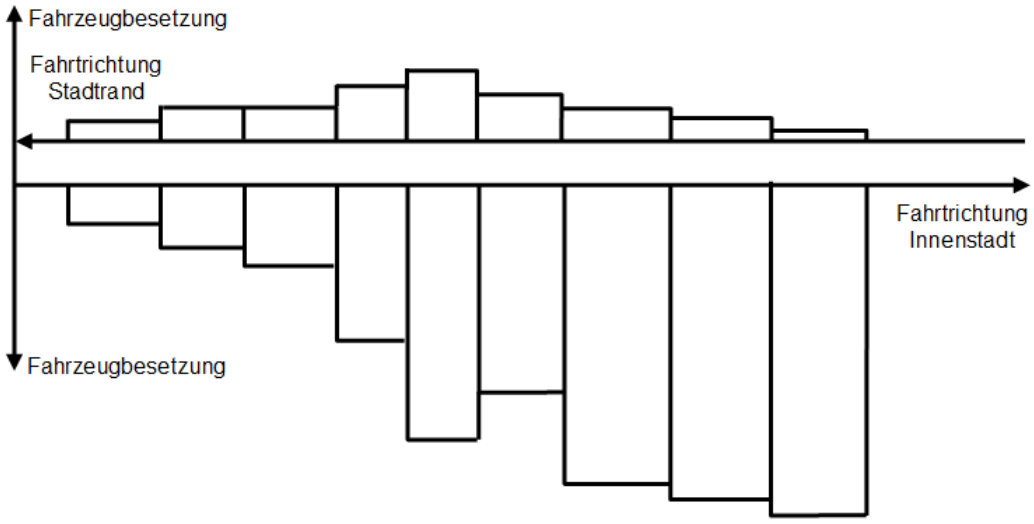


Abbildung 25: übliche morgendliche Fahrzeugbesetzung einer (Bus-)Linie [42]

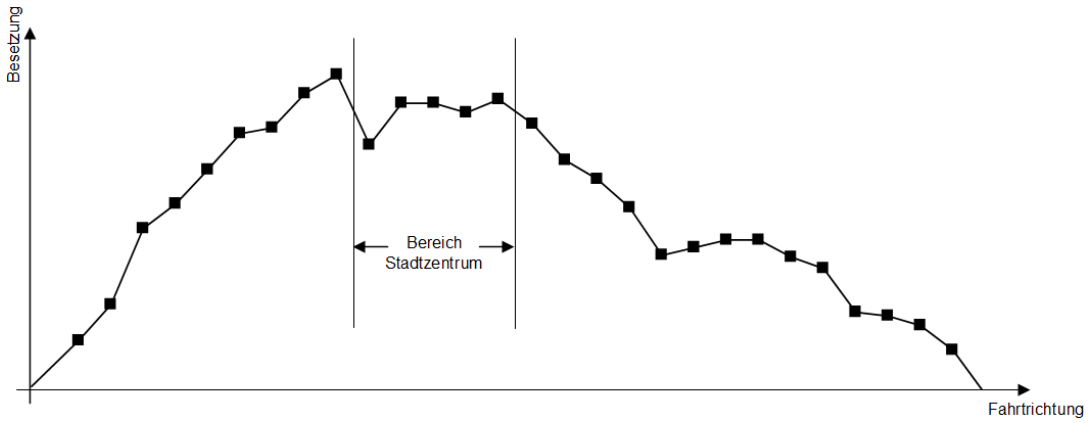


Abbildung 26: mittlere Tagesbesetzung einer Buslinie in Dresden [28]

In der Regel ist die Wahrscheinlichkeit, dass geringfügige Ausgangsverspätungen rasch anwachsen, im Zentrumsbereich wegen der höheren Auslastung der Fahrzeuge und Anlagen größer. Ein pünktliches Erreichen des Stadtzentrums trägt daher zu einem pünktlichen Betrieb auf der ganzen Strecke bei.

Deshalb sollte die zulässige Verspätung in den drei Abschnitten vor dem Stadtzentrum, im Zentrum und nach dem Zentrum eine unterschiedliche Höhe erreichen dürfen. Das spiegelt die Werte für $c_{Verspätung}$ in Tabelle 12 wider, die in Formel (5-4) einfließen.

$$t_{Verspätung,max} = c_{Verspätung} \cdot t_T \qquad \text{Formel (5-4)}$$

$t_{Verspätung,max}$ maximal zulässige Verspätung aufgrund einer Anschlussgewährung [s]

$c_{Verspätung}$ Aufwandswert der maximal zulässigen Verspätung [-]

Aufwandswert	Etappen		
$c_{Verspätung}$	vor Zentrum	Zentrum	nach Zentrum
	≤ 0,2	≤ 0,35	≤ 0,5

Tabelle 12: sinnvolle Werte der $c_{Verspätung}$

Dadurch soll erreicht werden, dass das Fahrzeug in der Anfangsphase der Fahrt nur kurz wartet, um die zusätzliche Wartezeit später zusteigender Fahrgäste gering zu halten und den Zentrumsbereich möglichst pünktlich zu erreichen. Nach dem Zentrum kann länger gewartet werden, da danach wenige Einsteiger zu erwarten sind.

4.2.2.5 Personalwechsel

Der Personalwechsel funktioniert grundsätzlich genau wie ein Anschluss. Wenngleich der Personalwechsel an sich auch zeitlich verschoben werden könnte, entstehen häufig Auswirkungen auf weitere Personalwechsel, für die der Abzulösende möglicherweise nach einer Pause oder Übergangszeit auf einem weiteren Zug zur Verfügung stehen muss. Darüber hinaus fallen in der Regel zusätzliche Lohnkosten und Aufwendungen für Abrechnungen an. Deshalb sollte der auf einen Ablösepunkt zufahrende Zug wie ein Zubringer zu einem Anschluss behandelt werden.

Der Zeitpunkt des planmäßigen Ablösebeginns wird als die einzuhaltende Ankunftszeit des Zubringers bei der Prüfung der LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung betrachtet. Je nach weiterem Dienstverlauf des Abzulösenden kann der Personalwechsel sogar wie ein Anschluss in Kategorien eingeteilt werden. Wenn die Lenk- oder die Arbeitszeit des Abzulösenden aufgrund einer Verspätung überschritten wird, kann der Personalwechsel der Kategorie 1 zugeordnet werden. Ist die Koppelzeit nicht ausreichend und deshalb die Pause

zu kurz oder eine neue Ablösung nach der Pause nicht pünktlich möglich, kann die Ablösung einem Anschluss der Kategorie 2 gleichgestellt werden. Die übrigen Fälle können in Kategorie 3 eingeordnet werden. In der Praxis passiert der Personalwechsel in der Regel nur bei einem Fahrzeug gleichzeitig. Ein Austausch des Fahrpersonals zwischen zwei Fahrzeugen ist sehr selten. Der erste Fall wird als richtungsorientierter Anschluss betrachtet und der zweite als wechselseitiger Anschluss.

4.3 Entscheidungsgrundlagen

4.3.1 Pünktlichkeit

Üblicherweise existieren für die Pünktlichkeit drei Bereiche, der pünktliche, der verfrühte und der verspätete Bereich. Die letzten zwei Bereiche können noch weiter in gering oder stark verfrühte bzw. verspätete Bereiche unterteilt werden.

In der Regel lässt sich die Pünktlichkeit anhand der Fahrplanlage ermitteln. Es ist jedoch festzustellen, dass auch andere Ansätze sinnvoll sind. Deshalb werden in den folgenden Abschnitten mehrere Möglichkeiten vorgestellt.

4.3.1.1 Pünktlichkeit nach Fahrplanlage mit absoluter Abweichung

Der Soll-Fahrplan stellt die ideale Lage einer Fahrt dar und kann in der Praxis nicht exakt eingehalten werden [41]. Deswegen wird der pünktliche Bereich als Intervall definiert. Die Fahrplanabweichung von „0“ stellt die Abgrenzung zwischen dem verfrühten und dem pünktlichen Bereich dar und bildet demzufolge die untere Intervallgrenze des pünktlichen Bereiches. Die obere Grenze, also der maximale Grenzwert des pünktlichen Bereiches, sowie Grenzen der anderen Bereiche der Pünktlichkeit sind in Richtlinien oder Regelwerken nicht vorgegeben. In der Praxis werden sie in der Regel von den Unternehmen als Erfahrungswert individuell festgelegt.

Die Festlegung des pünktlichen Bereichs wird von drei Faktoren beeinflusst:

- menschliche

- verkehrliche und betriebliche
- politische

Als menschlicher Faktor werden die Denkweise und die Erfahrungen der dafür zuständigen Personen des Verkehrsunternehmens und der Fahrgäste gesehen. Die eigenen Erfahrungen der Mitarbeiter des Unternehmens spielen für die Entscheidung eine wichtige Rolle. Maßgebend sind letztlich aber die Wünsche der Fahrgäste. Deswegen muss die Festlegung des pünktlichen Bereichs auch die Erwartungen der Fahrgäste erfüllen. Die Fahrgäste legen ihre Grenzwerte oft nach eigenem Gefühl und Erfahrungen fest und schauen dafür selten eine statistische Auswertung an. Beim Fahrgast ist die Festlegung emotionaler als beim Verkehrsunternehmen. Ein Fahrgast ist beispielsweise einmal wegen Zeitdruck aus Termingründen schon mit einer Minute Verspätung sehr unzufrieden, ein anderes Mal bei lockerer Situation mit deutlich mehr Verspätung noch zufrieden.

Die Festlegung der Grenzwerte der Pünktlichkeit wird auch von verkehrlichen und betrieblichen Faktoren beeinflusst. Beispielsweise ist der Grenzwert für den pünktlichen Bereich im Eisenbahnverkehr höher als im städtischen Personennahverkehr. Ein Zug der S-Bahn in Frankfurt am Main wird nach Definition des Unternehmens mit ≤ 5 Minuten Verspätung als pünktlich angesehen [47]. Für Bus und Straßenbahn im städtischen Verkehr liegt der Grenzwert oft bei einer Verspätung von 2…3 Minuten. Aus betrieblicher Sicht spielt die statistische Auswertung der Pünktlichkeit des Betriebs eine wichtige Rolle. Deren Ergebnis bildet eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Unternehmen.

Die Festlegung des pünktlichen Bereiches kann auch von politischen Entscheidungen beeinflusst werden. Häufig wird zwischen Aufgabenträgern und Verkehrsunternehmen eine Pünktlichkeitsgarantie vereinbart. Deren Erfüllung kann erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen haben.

Daher ist es sinnvoll, die Grenzen der einzelnen Pünktlichkeitsbereiche nicht einheitlich sondern unternehmensindividuell abzuleiten. Es ist jedoch aus betrieblicher Sicht auch sinnvoll, die untere Grenze des pünktlichen Bereichs auf Null festzulegen.

Abbildung 27 zeigt schematisch die Festlegung der Pünktlichkeit nach der Fahrplanlage.

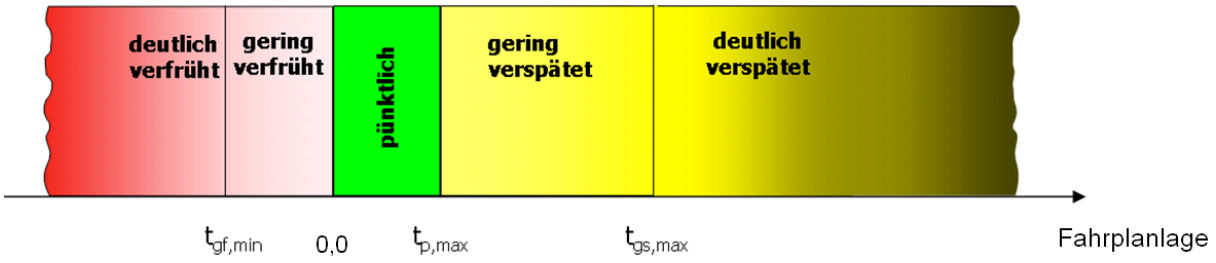


Abbildung 27: schematische Darstellung zur Festlegung der Pünktlichkeit nach Fahrplanlage mit absoluter Abweichung

Die angeführten Parameter stellen die Grenzwerte der einzelnen Bereiche der Pünktlichkeit dar. Die Bezugslinie des Soll-Fahrplans (t_{Fpl} = 0,0) stellt den Parameter $t_{p,min}$ dar.

Parameter	Erläuterung
$t_{gf,min}$	untere Grenze des gering verfrühten Bereiches
$t_{p,min}$	untere Grenze des pünktlichen Bereiches
$t_{p,max}$	obere Grenze des pünktlichen Bereiches
$t_{gs,max}$	obere Grenze des gering verspäteten Bereiches

Tabelle 13: Grenzen der Pünktlichkeitsbereiche nach Fahrplanlage mit absoluter Abweichung

In der Praxis wird dieses Verfahren häufig für die Ermittlung der Pünktlichkeit eines öffentlichen Verkehrsmittels angewandt.

4.3.1.2 Pünktlichkeit nach Fahrplanlage mit relativer Abweichung

Aus betrieblicher Sicht ist für die Pünktlichkeit die Zeitreserve in der Wendezeit sehr interessant. Das soll an einem Beispiel erläutert werden. Ein Fahrzeug habe eine Minute Verspätung zum Soll-Fahrplan. Nach der bisher beschriebenen Definition der Pünktlichkeit nach Fahrplanlage mit absoluter Abweichung ist es in der Regel noch pünktlich. Das Fahrzeug habe aber am Endpunkt nur eine Minute Zeitreserve in der Wendezeit für das Ausgleichen der Verspätung. Die pünktliche Abfahrt der nächsten Fahrt ist in Gefahr. Ausgehend von dieser Situation liegt eine deutliche Verspätung vor.

Die gleiche Überlegung liegt auch in Verbindung mit anderen Randbedingungen nahe. Die Zeitreserve für den Ausgleich von Verspätungen kann auch durch die Zeitreserve für das

Gewähren eines wichtigen Anschlusses der Kategorie 1 und 2 ersetzt werden. Das zeigt, dass die Pünktlichkeit nicht nur nach der absoluten Fahrplanabweichung sondern auch im Zusammenhang mit den verfügbaren Zeitreserven ermittelt werden kann.

Die Grundüberlegung ist die prozentuale Ausschöpfung der Zeitreserve $t_{Reserve}$ durch die aktuelle Fahrplanlage t_{Fpl}. Da eine Fahrplanlage im negativen Bereich, $t_{Fpl} < 0$, keine Bedeutung für die Zeitreserve hat, wird der Zusammenhang nur ermittelt, wenn die $t_{Fpl} \geq 0$ ist, also das Fahrzeug pünktlich oder verspätet ist. Die prozentuale Ausschöpfung der Zeitreserve durch die Verspätung lässt sich über eine lineare Funktion darstellen.

$t_{Fpl} = a \cdot t_{Reserve}$ für $t_{Reserve} \geq 0$ Formel (5-5)

a Steigerung der relativen Pünktlichkeit [-]

Es sind nunmehr drei Pünktlichkeitsbereiche zu definieren, der pünktliche, der gering verspätete und der deutlich verspätete. Mit a = 1 ist die Zeitreserve maximal ausgeschöpft, mit a > 1 ist sie überschritten. Deshalb wird ein weiterer Bereich „Zeitreserve überschritten“ eingeführt, der von dem deutlich verspäteten Bereich mit einer Linie der Formel (5-6) getrennt wird.

$t_{Fpl} = t_{Reserve}$ bei a = 1 Formel (5-6)

Es bleibt die Aufgabe, die Größe des Parameters a für gerade noch pünktliche und gerade noch leicht verspätete Fahrzeuge festzulegen. Das sollte für jeden Fall in der Praxis geschehen. Eine Prinzipdarstellung ist in Abbildung 28 zu finden.

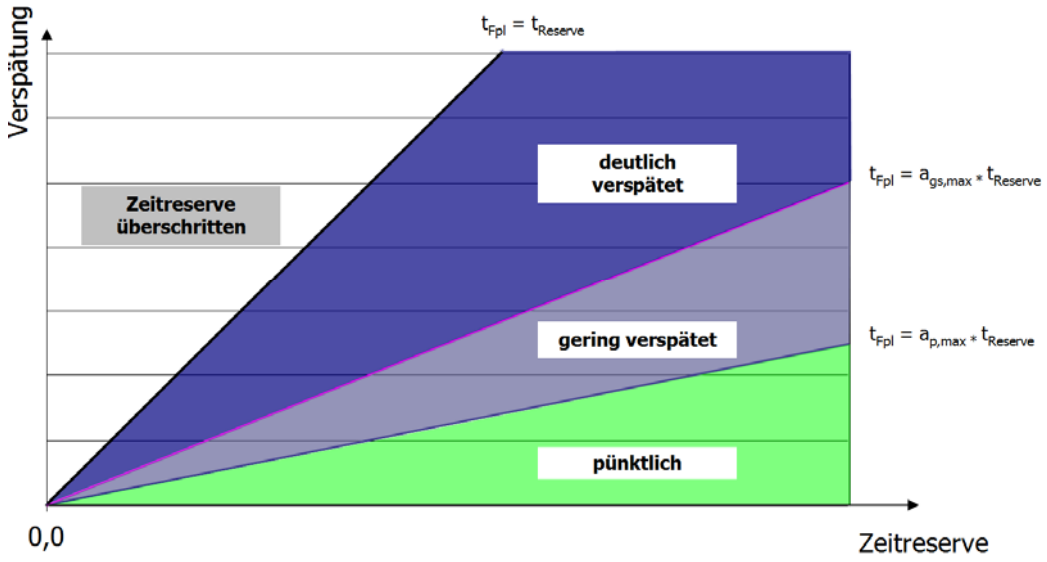


Abbildung 28: schematische Darstellung zur Festlegung der Pünktlichkeit nach Fahrplanlage mit relativer Abweichung

Parameter	Erläutern
$a_{p,max}$	obere Steigung des pünktlichen Bereich
$a_{gs,max}$	obere Steigung des gering verspäteten Bereiches

Tabelle 14: Grenzen der Pünktlichkeitsbereiche nach Fahrplanlage mit relativer Abweichung

Es ist zu erkennen, dass keine Steigerung a ermittelt werden kann, wenn die Zeitreserve Null beträgt. Dann ist es auch sinnlos, verschiedene Verspätungsbereiche zu definieren. Deshalb gilt Formel (5.5) nur für die tatsächliche Zeitreserven, $t_{Reserve} > 0$. Es ist dennoch notwendig, in diesem Fall eine Entscheidung zu fällen. Wenn $t_{Reserve}$ gleich Null und die Fahrplanlage gleich oder größer Null ist, wird die Pünktlichkeit des Fahrzeugs deshalb aus mathematischen Gründen dem Bereich Zeitreserve überschritten zugeordnet.

Der wesentliche Vorteil ist, dass nunmehr die Zeitreserve als wichtige Größe zum Ermitteln der Pünktlichkeit betrachtet wird. Es ist damit möglich, über die Kenngröße a die schrittweise Ausschöpfung der Zeitreserve zu messen und zeitig Maßnahmen gegen die Verspätung einzuleiten. Dadurch kann die Gefahr, dass die Wendezeit bis zur nächsten Fahrt nicht ausreicht oder dass wichtige Anschlüsse plötzlich verloren gehen, rechtzeitig erkannt und möglicherweise gebannt werden.

4.3.1.3 Pünktlichkeit nach kombiniertem Verfahren

Allerdings weist das Ermitteln der Pünktlichkeit in Abhängigkeit von der Zeitreserve ebenfalls eine erhebliche Schwäche auf. Bei einer großen verfügbaren Zeitreserve gelten Verspätungen noch als vernachlässigbar oder gering, obwohl sie von den Fahrgästen als groß angesehen werden.

Aus diesem Grund werden die beiden Verfahren zusammengefasst. Die Pünktlichkeit wird nach einem kombinierten Verfahren ermittelt. Abbildung 29 zeigt schematisch das Verfahren, nach dem sowohl die Fahrplanlage als auch die Zeitreserve zum Ermitteln der Pünktlichkeit einbezogen werden.

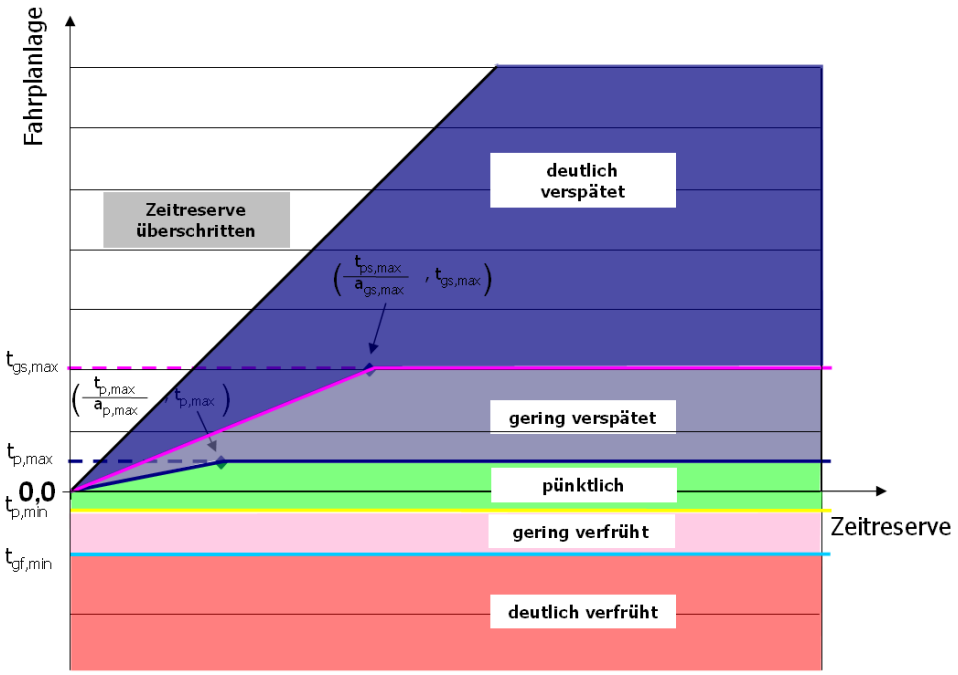


Abbildung 29: schematische Darstellung zur Festlegung der Pünktlichkeit nach kombiniertem Verfahren

Zunächst fällt auf, dass in dem Bereich mit negativer Fahrplanlage, also mit Verfrühung, die Pünktlichkeit nur nach dem Verfahren mit absoluter Fahrplanabweichung ermittelt wird. In den Fällen mit positiver Fahrplanlage, also mit Verspätung, wird bei kleiner Zeitreserve das Verfahren mit relativer Fahrplanabweichung angewandt, bei großer Zeitreserve das mit absoluter. Entscheidend für den Wechsel sind die Schnittpunkte der Grenzlinien zwischen den Verspätungsbereichen.

Das kombinierte Verfahren hat einen wesentlichen Vorteil. Es werden sowohl die fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen als auch die Interessen der Fahrgäste berücksichtigt. Im linken Bereich, wo die Zeitreserve relativ klein ist, lässt sich die Pünktlichkeit über das Verhältnis zwischen Fahrplanlage und Zeitreserve ermitteln. Dadurch wird die Bedeutung der Zeitreserve in diesem Bereich wesentlich erhöht. Das bedeutet, dass die verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen eines Fahrzeugs in dieser Situation besser wahrgenommen werden. Im rechten Bereich werden die Interessen der Fahrgäste abgebildet.

4.3.2 Relevante Anschlüsse

Aus technischen wie auch wirtschaftlichen Gründen können nicht alle Fahrgäste direkt befördert werden. Deshalb haben Anschlüsse sowohl für die Kunden als auch für die Unternehmen eine hohe Bedeutung. Dieser Bedeutung sind sich Verkehrsunternehmen zunehmend bewusst, deshalb weisen sie Anschlüsse aus oder garantieren sie sogar. Andererseits verpflichtet das auch dazu, die Anschlüsse im täglichen Betrieb zuverlässig zu gewähren.

Für die Anschlussgewährung, insbesondere bei unplanmäßigem Betrieb müssen die Abbringer oft zusätzliche Verspätungen aufgrund des Abwartens eines Anschlusses in Kauf nehmen. Diese Verspätungen können sich negativ auf die Stabilität des gesamten Betriebs auswirken, zumal die Anzahl der möglichen Umsteigemöglichkeiten innerhalb eines Netzes sehr groß ist. Wenn an einem Knoten n Linien zusammentreffen, dann beträgt die Anzahl der maximal möglichen Umsteigemöglichkeiten n*(n-1). Das sind beispielsweise 380 Möglichkeiten, wenn n gleich 20 ist. Diese Zahl wächst enorm, wenn ein großes vermaschtes Netz betrachtet wird.

Deswegen müssen in einem Netz zunächst diejenigen Anschlüsse ausgewählt werden, die für die Kunden von Interesse sind. Diese sollen im Weiteren als **relevante Anschlüsse** bezeichnet werden und können dann den vier Anschlusskategorien zugeordnet werden.

Die gegenwärtige Technik gestattet noch nicht, die Quelle-Ziel-Beziehung der Fahrgäste des städtischen öffentlichen Personennahverkehrs fahrtkonkret zu ermitteln. Deswegen kann im Gegensatz zum Schienenfernverkehr [34] nicht fahrtkonkret anhand der tatsächlichen Fahrgastströme in Echtzeit geprüft werden, ob ein Anschluss relevant ist oder nicht. Die relevanten Anschlüsse müssen deshalb im Vorfeld über eine andere Methode ermittelt werden.

4.3.2.1 Methodik zum Ermitteln der relevanten Anschlüsse

Ziel ist, aus der Vielzahl möglicher Anschlüsse, die für die Kunden relevanten und im Betrieb beherrschbaren herauszufinden. Dabei kann mit unterschiedlichen Bezugsebenen gearbeitet werden. Nachstehende Bezugsebenen sind möglich:

- Knotenbezug
- Linienbezug
- Netzbezug

Ein konkreter Anschluss kann bei unterschiedlichem Bezug auch unterschiedlich bewertet werden. So kann ein Anschluss an einem Knoten bei Betrachtung des Knotens und dessen näherer Umgebung zur Feinerschließung durchaus sinnvoll sein, bei Betrachtung des gesamten Netzes aufgrund einer besseren Verbindung jedoch nicht. Insofern ist es sinnvoll, die Sinnfälligkeit relevanter Anschlüsse in jeder Bezugsebene zu prüfen.

Die Ermittlung auf jeder Bezugsebene wird in mehreren Schritten durchgeführt:

- Prüfung augenfälliger verkehrlicher und infrastruktureller Randbedingungen
- Prognose für die Benutzung der Umsteigemöglichkeiten
- Prüfung fahrplanerischer Randbedingungen

Im ersten Schritt werden naheliegende verkehrliche und infrastrukturelle Randbedingungen, wie Linie, Fahrtrichtung, Fahrtziele und Eignung der Umsteigepunkte, geprüft. Damit werden Umsteigemöglichkeiten ausgefiltert, die aus verkehrlicher und infrastruktureller Sicht keinen Sinn haben. Dazu zählen die folgenden Fälle:

(1) gleiche Linie und gleiche Richtung (Verstärkungsfahrten auf einer Teilstrecke und normale Fahrten)

(2) gleiche Linie und Gegenrichtung

(3) verschiedene Linien mit gleicher Strecke und gleicher Richtung

(4) verschiedene Linien mit gleicher Richtung, wenn ein anderer Umsteigepunkt besser ist

(5) verschiedene Linien mit unterschiedlichen Richtungen, wenn ein anderer Umsteigepunkt besser ist

Nach dem ersten Schritt verbleiben nur Umsteigemöglichkeiten, die aus der verkehrlichen und infrastrukturellen Sicht logisch sind und von den Fahrgästen benutzt werden können. Ziel des zweiten Schrittes ist, die für sehr viele Fahrgäste interessanten oder notwendigen Umsteigemöglichkeiten auszuwählen. Ein von nur wenigen Fahrgästen benutzter oder nicht

notwendiger Anschluss muss nicht bei der Anschlussprüfung betrachtet werden. Für die Prognose stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Einmal kann geprüft werden, ob auf den Anschluss verzichtet werden kann, weil er unnötig ist oder für die Kunden interessante Alternativen zur Verfügung stehen. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn die Verbindung auf einem anderen Weg wieder zurückführt, wenn die Umsteigeverbindung einer dritten Linie kürzer oder bequemer ist oder wenn ein kurzer Fußweg das Umsteigen begünstigt. Zum anderen stehen verkehrsplanerische Modelle oder Hochrechnungen zur Verfügung. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass häufig verschiedene bauliche oder psychologische Randbedingungen, insbesondere zur Gestaltung des Umsteigeknotens, nur unzureichend berücksichtigt werden [10]. Zu nennen sind besonders die Position der Halteplätze und der Übergangswege. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse bei großen Unterschieden gegenseitig zu prüfen. Außerdem kann das Verkehrsunternehmen festlegen, ab welcher Nutzung ein Anschluss zum relevanten Anschluss zählen kann. Dann können auch Umsteigemöglichkeiten einbezogen werden, die betrieblich oder wirtschaftlich nötig sind.

Nach der endgültigen Festlegung der relevanten Anschlüsse ist eine Datenbank – die sogenannte Anschlussliste – zu erstellen. Die Anschlussliste ist eine Tabelle, in der alle relevanten Anschlüsse zusammengefasst werden. Sie ermöglicht, die relevanten Anschlüsse zu verwalten und sollte die folgenden Forderungen erfüllen:

- Einfache Benutzeroberfläche
- Nutzerfreundliche Bedienung
    - Gute Sichtbarkeit der Infrastrukturen wie Haltepunkte, Verkehrslinien
    - Einfache Bedienung für Auswählen, Aktivieren oder Deaktivieren der Anschlüsse
- Gute Anpassungsfähigkeit bei langfristigem Fahrplanwechsel oder kurzfristiger Betriebsstörung wie Umleitung
- Gute Verknüpfungsmöglichkeiten mit anderen Datenbanken

4.3.2.2 Beispiel für das Ermitteln der relevanten Anschlüsse

Die theoretischen Überlegungen sollen nachfolgend an einem Beispiel erläutert werden.

Ausgewählter Knotenpunkt ist der Nürnberger Platz in Dresden. Am Nürnberger Platz fahren insgesamt zwei Straßenbahnlinien 3 und 8, und eine Stadtbuslinie 61. Die Linie 3 und 61 werden in den Spitzenstunden verstärkt. Anschlüsse zwischen den normalen und den verstärkenden Fahrten, die in der gleichen Richtung verkehren, wurden nach dem ersten Kriterium zuerst ausgeschlossen. Dann wurden in der Weiteruntersuchung diese beiden Fahrtarten gemeinsam durch die normalen Fahrten vertreten. Die weiteren Schritte zeigt Tabelle 15. Die roten Kästchen enthalten die Anschlüsse, die am Ende jedes Schrittes verblieben sind. Die beigefarbigen Kästchen zeigen die Anschlüsse, die bereits ausgeschlossen sind. Die Kästchen mit der gelben Farbe zeigen die im aktuellen Schritt ausgeschlossenen Anschlüsse.

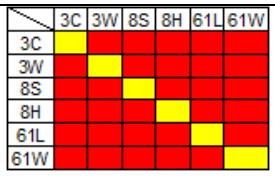
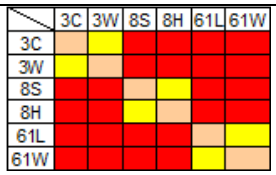
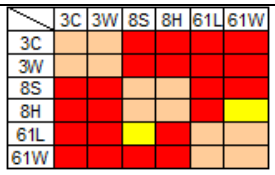
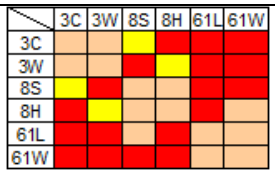
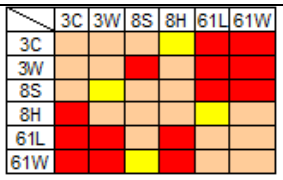
Bild	Kriterium (Vergleich Kapitel 5.3.2.1)	Anzahl der übrigen Anschlüsse	
		vorher	nachher
	Fall 1	36	30
	Fall 2	30	24
	Fall 3	24	22
	Fall 4	22	18
	Fall 5	18	14

Tabelle 15: Beispiel zum Ermitteln der relevanten Anschlüsse

Danach erfolgt im zweiten Schritt ein Test zur Benutzung der verbliebenen Anschlüsse. Dafür standen Daten aus der Verkehrserhebung des VVO von 2006 zur Verfügung. In der Erhebung wurden Fahrgäste im Bedienungsgebiet der DVB nach ihrer Quelle-Ziel-Beziehung befragt und die Tagesganglinien der Aus- und Einsteiger nach Richtungen getrennt über automatische Fahrgastzählsysteme ermittelt. Danach erfolgte eine Hochrechnung der Befragungsdaten zu einer Quelle-Ziel-Matrix, anschließend eine Umlegung der hochgerechneten Daten durch Visum. Die Zahl der Umsteiger variiert je nach Nutzung der Anschlüsse von 0 bis zu 477 am Tag. Die stark genutzten Umsteigemöglichkeiten aus der Umlegung vom Nürnberger Platz passen gut zur vorherigen Auswahl. Es wurden jedoch auch die vorn genannten Mängel der Daten festgestellt.

Nach der Ermittlung der relevanten Anschlüsse am Knoten Nürnberger Platz wurde der Test auf eine Linie erweitert. Ermittelt wurden die relevanten Anschlüsse für die Straßenbahnlinie 3, die den Nürnberger Platz als eine von 25 Haltestellen bedient [35]. Vor Beginn des ersten Schrittes gab es über 600 Umsteigemöglichkeiten, von denen nach dem ersten Prüfungsschritt nur noch 63 Anschlüsse geblieben sind. Diese sollen in einem dritten Schritt nach den fahrplanerischen Randbedingungen weiter reduziert werden.

4.3.3 Prioritätsstufen

Ziel des Verfahrens ist nicht nur, für jede Fahrt eines öffentlichen Verkehrsmittels die fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen zu berücksichtigen, sondern ebenso die Belange der anderen Verkehrsteilnehmer. Die Interessen müssen also abgewogen werden. Deshalb sollten die unterschiedlichen verkehrlichen und betrieblichen Eigenschaften jeder Fahrt in einem Entscheidungskriterium gebündelt werden. Jeder Fahrt wird dabei eine Priorität zugeordnet, es entsteht so ein System von Prioritätsstufen, welches sowohl für die Wichtung des ÖV gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern als auch für mehrere ÖV untereinander geeignet sein sollte. Dadurch kann auch die Akzeptanz der LSA-Beeinflussung für den ÖV durch die anderen Verkehrsteilnehmergruppen erhöht werden.

Die Zahl der Prioritätsstufen sollte einerseits genügend Abstufungen bei unterschiedlichen verkehrlichen und betrieblichen Situationen und andererseits eine unkomplizierte technische Übertragung und Verarbeitung zulassen. Insofern erscheinen grundsätzlich bis zu zehn Stufen sinnvoll, die erforderlichenfalls über die im R09-16-Telegramm für die Pünktlichkeit vorgesehene Stelle übertragen werden können. Von diesen 10 Stufen sollten fünf für die

einzelnen Pünktlichkeitsbereiche reserviert werden, die übrigen können für zusätzliche Attribute genutzt werden.

Zunächst sollen die fünf Stufen für die einzelnen Pünktlichkeitsbereiche zugeordnet werden:

- Bei pünktlichem Betrieb darf die Behinderungszeit über alle Lichtsignalanlagen im Linienverlauf den im Fahrplan vorgesehenen Mittelwert annehmen. Ein pünktliches Fahrzeug sollte also an jedem Knoten eine für diesen Knoten mittlere Behinderung erfahren, es erfolgt eine **Bedienung mit durchschnittlicher Behinderung**.
- Ist ein Fahrzeug gering verfrüht, darf seine Behinderung zugunsten anderer Verkehrsteilnehmer etwas größer werden, es kommt dann am Knoten zu einer **Bedienung mit geringfügig überdurchschnittlicher Behinderung**.
- Im Fall einer deutlichen Verfrühung darf die Behinderung noch größer werden, es darf dann eine **Bedienung mit deutlich überdurchschnittlicher Behinderung** erfolgen.
- Ist dagegen ein Fahrzeug gering verspätet, sollte die Behinderung etwas geringer sein als im Mittel, um die Verspätung tendenziell abzubauen. Es sollte also eine **Bedienung mit geringfügig unterdurchschnittlicher Behinderung** realisiert werden.
- Ein deutlich verspätetes Verkehrsmittel sollte im Interesse seiner Pünktlichkeit eine **Bedienung mit deutlich unterdurchschnittlicher Behinderung** erfahren.

Es folgen Fahrzeuge mit zusätzlichen Attributen, die durch das Erreichen verkehrlich oder betrieblich wünschenswerter, wichtiger oder zwingender Ankunftszeiten gesetzt werden:

- Fahrzeuge, deren Zeitreserven für das Erreichen eines Anschlusses als Zubringer, für einen Personalwechsel oder bis zum pünktlichen Antritt einer Folgefahrt bereits überschritten sind, sollten solange gegenüber verspäteten Fahrzeugen ohne ein solches zusätzliches Attribut bevorzugt werden, bis die entsprechenden Ereignisse nicht mehr gefährdet sind. Handelt es sich um ein zwingendes Ereignis, dann sollte eine **bevorzugte Bedienung zwingend** sein.
- Ist das entsprechende Ereignis nicht zwingend, aber dennoch wichtig, sollte das Fahrzeug ebenfalls gegenüber verspäteten Fahrzeugen ohne ein solches Attribut bevorzugt werden. Andererseits wird es gegenüber zwingend zu bevorzugenden Fahrzeugen nachgeordnet. In diesem Fall ist seine **bevorzugte Bedienung wichtig**.
- Wenn das entsprechende Ereignis weder zwingend noch besonders wichtig, jedoch wünschenswert ist, sollte das Fahrzeug gegenüber verspäteten Fahrzeugen ohne ein

solches Attribut bevorzugt werden. Selbstverständlich muss es gegenüber Fahrzeugen, deren bevorzugte Bedienung zwingend oder wichtig ist, nachgeordnet werden. Nunmehr wird seine **bevorzugte Bedienung wünschenswert**.

Treffen mehrere Attribute zu, sind sie einzeln einzuordnen. Maßgebend ist das Attribut mit der höchsten Priorität.

Hinter den wünschenswerten, wichtigen oder zwingenden Ankunftszeiten können verschiedene Ereignisse stehen. Tabelle 16 zeigt die Zuordnung der bereits vorgestellten verkehrlichen und betrieblichen Ereignisse Anschlusskategorie, Wendezeit und Personalwechsel zu den drei Dringlichkeitsstufen. Den Anschlüssen der Kategorie 3 und 4 wird keine der drei Stufen zugeordnet, da das Zustandekommen dieser Anschlüsse erst unmittelbar vor der Ankunft an der Umsteigehaltestelle geprüft wird und die Steuerung erforderlichenfalls über die Pünktlichkeit erfolgt.

Dringlichkeit der Bedienung	Anschlusskategorie	Wendezeit-überschreitung	Personalwechsel
zwingend	1	vor bedeutsamer Linienfahrt	Lenk- oder Arbeitszeitproblem
wichtig	2	vor normaler Linienfahrt	Pausenproblem
wünschenswert	-	übrige	übrige

Tabelle 16: Zuordnung der verkehrlichen und betrieblichen Ereignisse zu den drei Dringlichkeitsstufen

Damit erfolgte die Definition von acht Prioritätsstufen. Eine Zusammenfassung zeigen Tabelle 17 und Abbildung 30. Diese Prioritätsstufen sollten so in eine zehnstufige Skala eingeordnet werden, dass am Anfang und am Ende noch je eine Stufe für besondere Ereignisse übrig bleibt. Das könnte im Fall der höchsten Priorität beispielsweise ein Hilfszugeinsatz auf einer Regionalstadtbahn sein, im Fall der niedrigsten Priorität ein Einfahrverbot aufgrund einer Streckensperrung. Das aber soll nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sein.

Prioritätsstufen	Attribut des Verkehrsmittels	Bedienung an der LSA
0	Reserve	Reserve
1	Verpassen einer zwingenden Ankunftszeit droht	Bevorzugung zwingend
2	Verpassen einer wichtigen Ankunftszeit droht	Bevorzugung wichtig
3	Verpassen einer wünschenswerten Ankunftszeit droht	Bevorzugung wünschenswert
4	deutlich verspätet	deutlich unterdurchschnittliche Behinderung
5	gering verspätet	geringfügig unterdurchschnittliche Behinderung
6	Pünktlich	durchschnittliche Behinderung
7	gering verfrüht	geringfügig überdurchschnittliche Behinderung
8	deutlich verfrüht	deutlich überdurchschnittliche Behinderung
9	Reserve	Reserve

Tabelle 17: Prioritätsstufen eines öffentlichen Verkehrsmittels

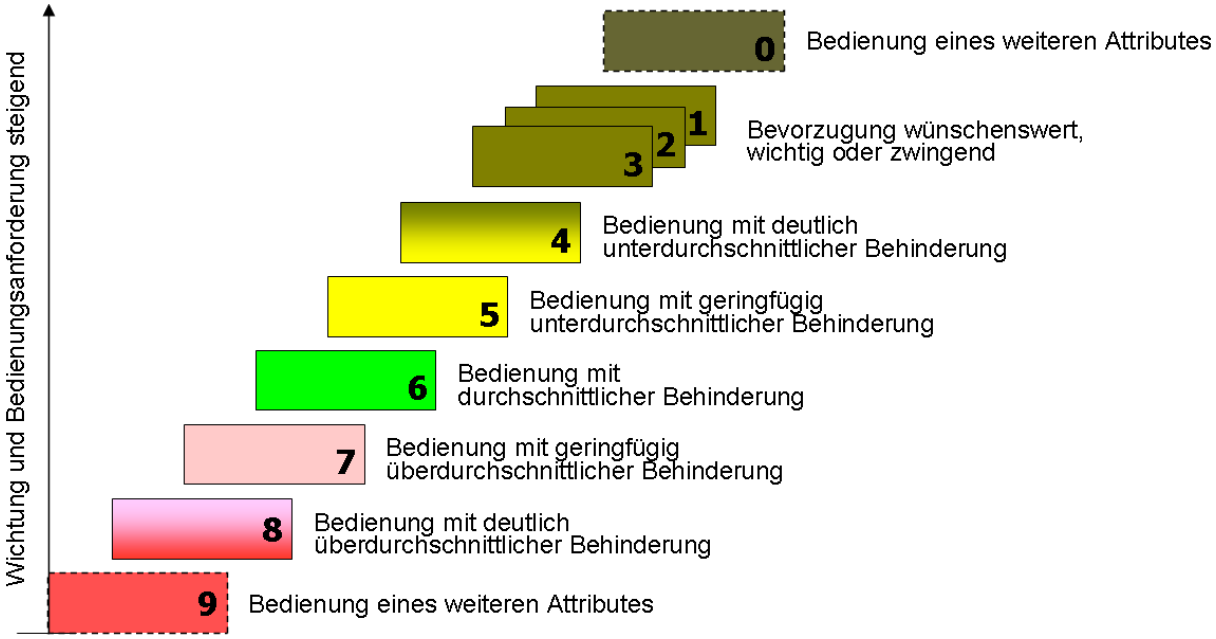


Abbildung 30: Prioritätsstufen eines öffentlichen Verkehrsmittels

Insgesamt stellt die Priorität ein Synonym für die Dringlichkeit der Bedienung an der LSA dar. Je höher die Prioritätsstufe ist, desto geringer ist das Gewicht der Anforderung. Fahrzeuge mit den Stufen von 1 bis 6 sollen bevorrechtigt werden. Fahrzeuge mit den Stufen 7 und 8 sind wenig oder nicht zu bevorrechtigen und erhalten in der Regel die Grundfreigabe.

Allerdings berücksichtigt die Prioritätsstufe nur die Anforderung des öffentlichen Verkehrsmittels. Für die Ermittlung der Freigabe an einer Lichtsignalanlage selbst müssen noch die Belange der anderen Verkehrsteilnehmer betrachtet werden. Über die Zuordnung der Prioritätsstufen und die priorisierte Auswahl der Freigaben ist es aber möglich, ÖV-Fahrzeuge an LSA unterschiedlich zu behandeln.

4.3.4 Personen- oder fahrzeugbezogene Gesamtwartezeit

Das in Abschritt 3.2.3 vorgestellte Verfahren bietet eine Möglichkeit zum Ermitteln der personenbezogenen Gesamtwartezeit, die allerdings noch zukunftsorientiert ist.

Die personenbezogene Wartezeit des Fahrgaststroms $\Delta t_{w,p,i}$ lässt sich nach Formel (5-7) ermitteln.

$$\Delta t_{w,p,i} = \Delta t_{w,i} \cdot b_i \qquad \text{Formel (5-7)}$$

Mit	$\Delta t_{w,p,i}$	=	personenbezogene Wartezeiten	[Pers·Sec]
	$\Delta t_{w,i}$	=	Wartezeit des Fahrgaststroms i	[Sec]
	b_i	=	Stärke des Fahrgaststroms i	[Pers]

Für alle Fahrgastströme ergibt sich dann zusammen die personenbezogene Gesamtwartezeit.

$$\Delta t_{w,gesamt} = \Sigma\, \Delta t_{w,p,i} = \Sigma\, \Delta t_{w,i} \cdot b_i \qquad \text{Formel (5-8)}$$

Mit	$\Delta t_{w,gesamt}$	=	personenbezogene Gesamtwartezeiten	[Pers·Sec]

Beim Berechnen der personenbezogenen Gesamtwartezeiten sind alle Fahrgastgruppen zu berücksichtigen. Selbst mit e-Ticket kann vorher nicht festgestellt werden, wie sich im Fahrzeug oder an einer Haltestelle befindende Fahrgäste im weiteren Fahrtverlauf verhalten werden, ob sie an maßgebenden Haltestellen weiterzufahren, auszusteigen oder umzusteigen beabsichtigen. Wegen dieser Schwierigkeiten und das e-Ticket-System gerade in Europa nur wenig verbreitet ist, müssen die fahrzeugbezogenen Gesamtwartezeiten statt die personenbezogenen Gesamtwartezeiten eingesetzt werden. Dafür ist der Parameter b für alle Fahrgastströme 1.

5 Algorithmenentwicklung

In diesem Kapitel werden die Algorithmen der Verfahren für das Ermitteln der Prioritätsstufen zur fahrtkonkreten LSA-Beeinflussung und zur fahrtkonkreten Anschlusssicherung entwickelt. Die Algorithmen werden in Form eines Entscheidungsbaums dargestellt.

5.1 Algorithmen zum Ermitteln der Prioritätsstufen

5.1.1 Vorgehensweise

Vorgestellt werden Algorithmen in drei Varianten. Zugrunde gelegt wird eine Variante, in der sowohl die konkrete Fahrplanlage als auch Zeitreserven im Umlauf und bei der Anschlussgewährung berücksichtigt werden.

Die Pünktlichkeit eines öffentlichen Verkehrsmittels wird stets nach dem in Kapitel 4.3.1.3 genannten kombinierten Verfahren ermittelt. Bei der verbleibenden Wendezeit und bei gefährdeten Anschlüssen im weiteren Fahrtverlauf wird gemäß Abschnitt 4.3.3 zwischen Zwingenden, Wichtigen und Wünschenswerten unterschieden. Personalwechsel werden gemäß Abschnitt 4.2.2.5 wie Anschlüsse behandelt.

Anschlüsse – zumal unterschiedliche Kategorien – planen allerdings nicht alle Unternehmen. Deshalb wird in einer Variante 2 ein Algorithmus ohne Betrachtung von Anschlüssen vorgestellt.

Das Ermitteln der Zeitreserven in der Wendezeit und zur Gewährung von wichtigen Anschlüssen erfordert erhebliche technische Voraussetzungen. Nicht alle Unternehmen verfügen über die notwendige Technik. Deshalb wird in einer Variante 3 ein Algorithmus vorgestellt, der nur die absolute Fahrplanabweichung berücksichtigt.

Zusammengefasst sind folgende drei Varianten vorzustellen:

- Variante 1: nach dem kombinierten Verfahren mit allen Zeitreserven
- Variante 2: nach dem kombinierten Verfahren nur mit Zeitreserven in der Wendezeit

- Variante 3: nach dem vereinfachten Verfahren mit absoluter Abweichung von der Fahrplanlage

Beim Vorstellen der Algorithmen werden wesentliche Überlegungen und Hintergründe erläutert. Alle Algorithmen werden in zwei Formen vorgestellt, in Textform und mit Parametern. Das soll das Verstehen der Algorithmen vereinfachen.

5.1.2 Kombiniertes Verfahren mit allen Zeitreserven

Nach der Anmeldung eines öffentlichen Verkehrsmittels wird dessen aktuelle Fahrplanlage ermittelt. Ist das Fahrzeug verfrüht, was einer Fahrplanlage kleiner Null gleichkommt, erhält es je nach Stärke der Verfrühung die Prioritätsstufen 7 und 8. Wenn das Fahrzeug nicht verfrüht ist, wird weiter geprüft, ob es pünktlich oder verspätet ist sowie welche Höhe die Verspätung besitzt. Entsprechend werden die Prioritätsstufen 4…6 zugewiesen. Dabei wird stets zuerst die relative Fahrplanabweichung und danach die absolute Fahrplanabweichung geprüft. Vorab erfolgt allerdings noch eine Prüfung der Zeitreserve in der Wendezeit und vorgesehener Anschlüsse, um erforderlichenfalls eine der Prioritätsstufen 1…3 zuweisen zu können. Der Prüfungsprozess ist beendet, wenn eine Stufe der acht Prioritätsstufen bestätigt wird.

Die zu prüfenden Kenngrößen werden in Tabelle 18 zusammengefasst. In Abbildung 31 und 32 wird der Algorithmus in Textform und mit Parametern dargestellt.

Kenngrößen	t_{Fpl}, $t_{gf,min}$, $t_{p,min}$, $t_{p,max}$, $t_{gs,max}$, $a_{p,max}$, $a_{gs,max}$, t_{Syn}, $t_{Reserve,Wen}$, $t_{Reserve,Ans,K1}$, $t_{Reserve,Ans,K2}$

Tabelle 18: Kenngrößen zum Ermitteln der Prioritätsstufen nach dem kombinierten Verfahren mit allen Zeitreserven

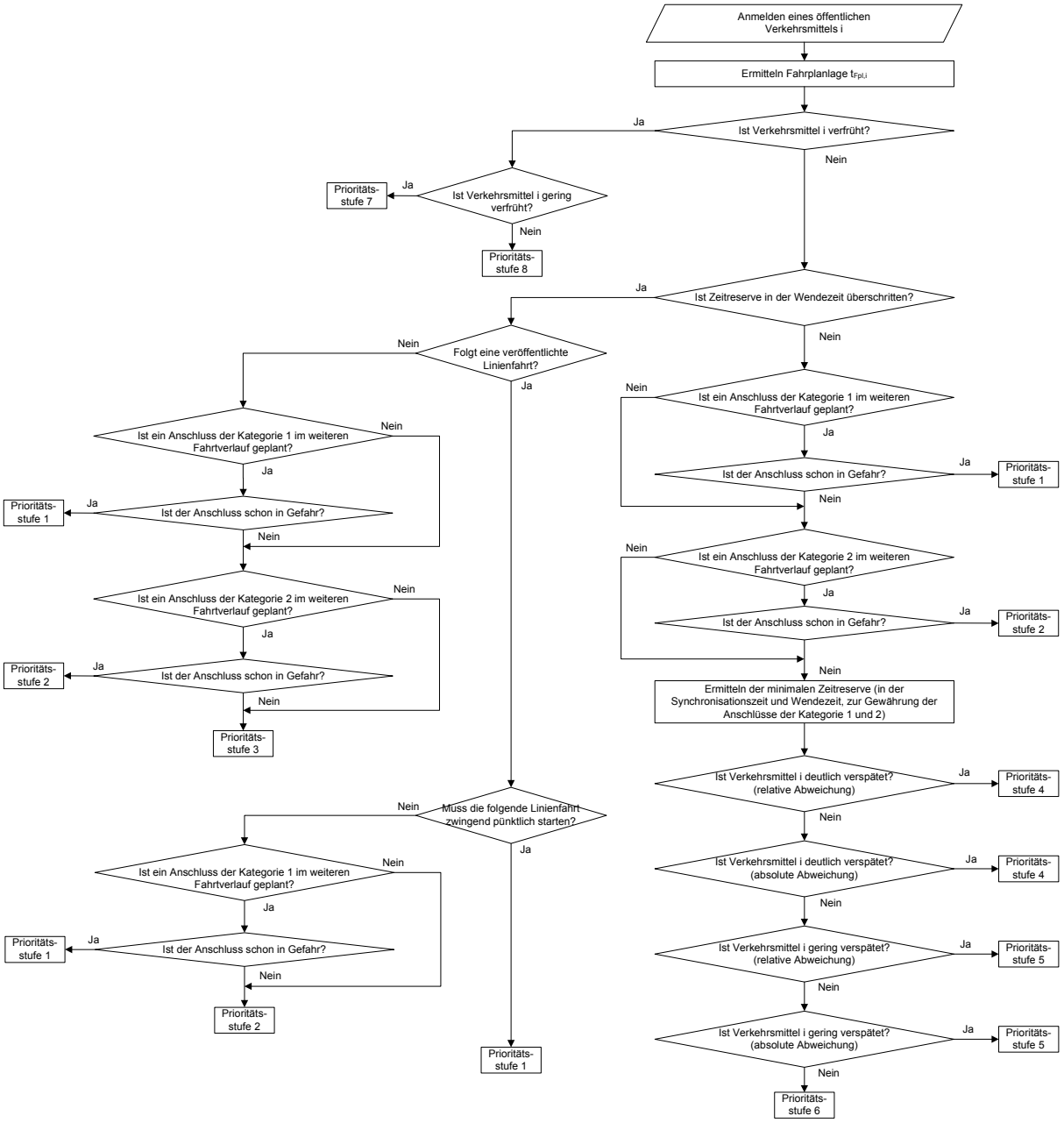


Abbildung 31: Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen nach dem kombinierten Verfahren mit allen Zeitreserven in Textform

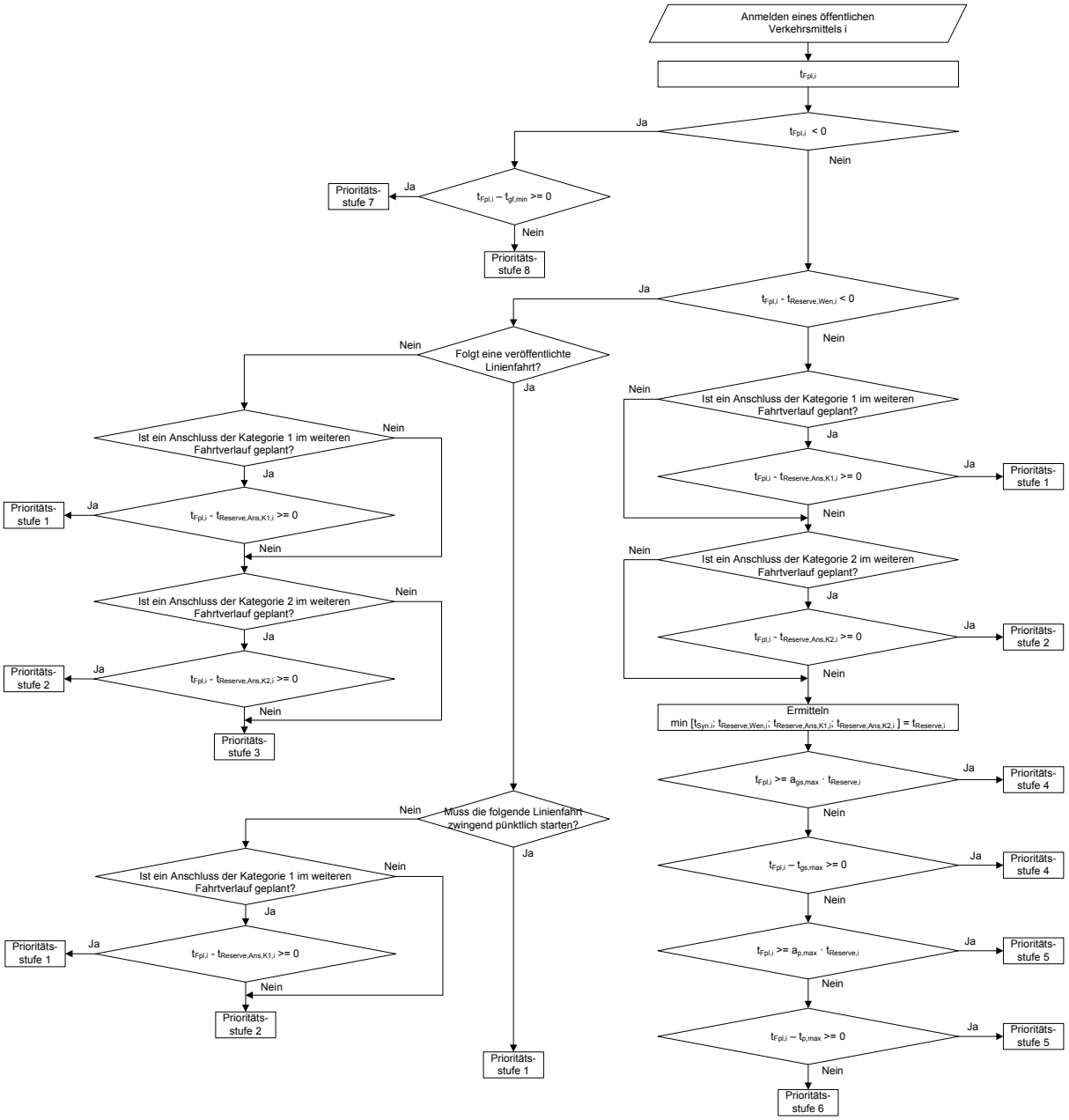


Abbildung 32: Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen nach dem kombinierten Verfahren mit allen Zeitreserven mit Parametern

5.1.3 Kombiniertes Verfahren nur mit Zeitreserve in der Wendezeit

Ein großer Algorithmusteil dieser Variante ist gleich dem Algorithmus der Variante mit allen Zeitreserven. Allerdings fehlt die Prüfung der Zeitreserve der Anschlussgewährung. Damit ist die Mindestzeitreserve identisch der Zeitreserve in der Wendezeit. Obwohl die Zeitreserve bei der Anschlussgewährung in der Berechnung der Pünktlichkeit fehlt, spiegelt die ermittelte

Pünktlichkeit die Anforderungen der Wendezeiten wider, die eine große Rolle für den Abbau der Verspätung spielen. Diese Variante ist deshalb der folgenden Variante nach der absoluten Fahrplanabweichung vorzuziehen. Der Algorithmus in Textform und mit Parametern enthalten Anhang 4.1 und 4.2, die zu prüfenden Kenngrößen Tabelle 19.

Kenngrößen	t_{Fpl}, $t_{gf,min}$, $t_{p,min}$, $t_{p,max}$, $t_{gs,max}$, $a_{p,max}$, $a_{gs,max}$, $t_{Reserve,Wen}$

Tabelle 19: Kenngrößen zum Ermitteln der Prioritätsstufen nach dem kombinierten Verfahren und nur mit Zeitreserven in der Wendezeit

5.1.4 Vereinfachtes Verfahren mit absoluter Abweichung von der Fahrplanlage

Der Unterschied zwischen diesem Algorithmus und dem Algorithmus nach dem kombinierten Verfahren mit allen Zeitreserven besteht darin, dass die Zeitreserven im Umlauf und bei der Anschlussgewährung nicht geprüft werden. Er ist nur für Unternehmen gedacht, die mit geringerem Aufwand oder geringen technischen Möglichkeiten ein Verfahren anwenden möchten. Es ist jedoch vom Autor nur bedingt zu empfehlen, da die Pünktlichkeit eines öffentlichen Verkehrsmittels gemäß Kapitel 5.3.1.1 nur eingeschränkt ermittelt werden kann. Außerdem sind, wie vorher genannt, entsprechend Änderungen in den anderen Modellen zu betrachten. Da die Prüfung der Zeitreserve fehlt, gibt es im Algorithmus auch nicht die Prioritätsstufen 1 bis 3. In Abbildung 33 und 34 wird der Algorithmus in Textform und mit Parametern dargestellt.

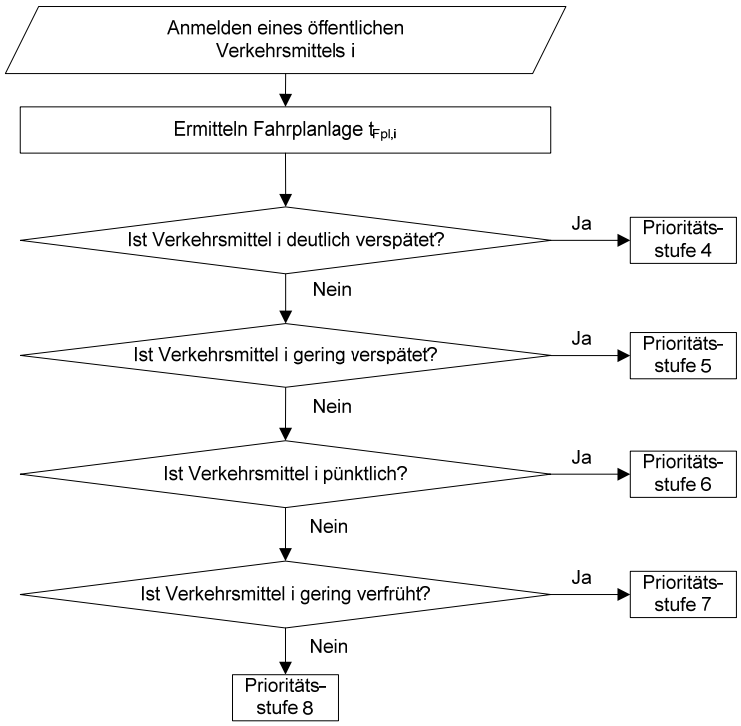


Abbildung 33: Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen nach dem vereinfachten Verfahren mit absoluter Abweichung von der Fahrplanlage in Textform

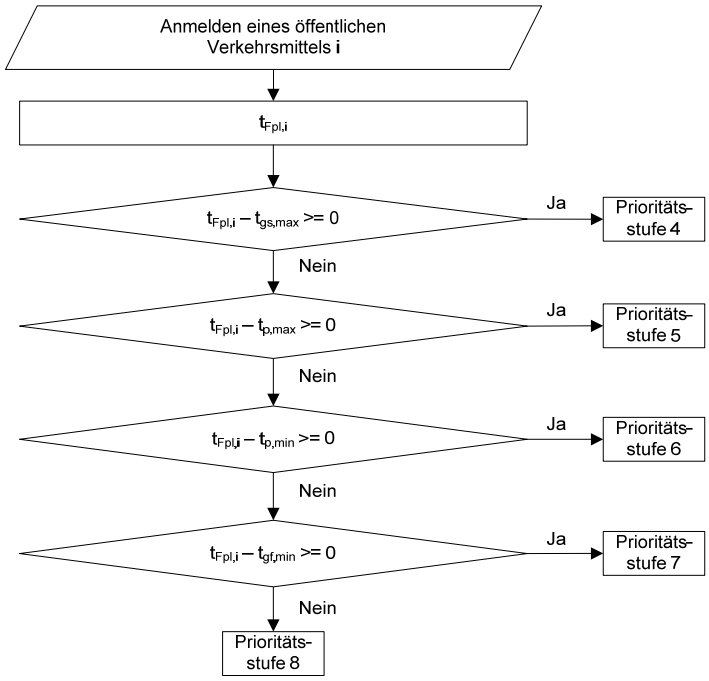


Abbildung 34: Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen nach dem vereinfachten Verfahren mit absoluter Abweichung von der Fahrplanlage mit Parametern

Die zu prüfenden Kenngrößen werden in Tabelle 20 zusammengefasst.

Kenngrößen	t_{Fpl}, $t_{gf,min}$, $t_{p,max}$, $t_{gs,max}$

Tabelle 20: Kenngrößen zum Ermitteln der Prioritätsstufen nach dem vereinfachten Verfahren mit absoluter Abweichung von der Fahrplanlage

5.1.5 Verarbeitung der Prioritätsstufen im LSA-Modell

Die im ÖV-Modell ermittelten Prioritätsstufen werden anschließend im LSA-Modell weiter verarbeitet. Das heißt, das ÖV-Modell bietet über die Schnittstelle dem LSA-Modell die Prioritätsstufe der auf einen Knoten zufahrenden öffentlichen Verkehrsmittel für die Entscheidung an. Das LSA-Modell betrachtet den Schaltzustand der Lichtsignalanlage und wichtet die Belange der öffentlichen und motorisierten Individualverkehrsmittel und berechnet die passenden Freigaben für die Verkehrsströme.

Da die Freigaben für die einzelnen Zufahrten nach ihren Prioritäten gesendet werden sollen, müssen klare Regeln für die Reihenfolge festgelegt werden. Das trifft insbesondere dann zu, wenn mehrere öffentliche Verkehrsmittel zeitnah auf den Knoten zukommen. Deshalb sollte die folgende Regel gelten:

- Verkehrsmittel höherer Prioritätsstufe vor niedrigerer

Bei gleicher Prioritätsstufe können weitere Regeln definiert werden. Dazu ist zunächst zu prüfen, ob am zu befahrenden Knotenpunkt ein oder mehrere Anschlüsse zu gewähren sind. Ist das der Fall, wird auf Abschnitt 6.2 verwiesen. Anderenfalls liegt das Prinzip „First in First out“ nahe. Sinnvoll wäre aber auch, alle Freigaben so zu senden, dass die beteiligten öffentlichen Verkehrsmittel insgesamt eine minimale Verlustzeit haben. Eleganter, aber auch aufwändiger wäre eine minimale personen- oder fahrzeugbezogene Gesamtwartezeit, was in Kapitel 5.3.4 vorgestellt wird.

5.2 Algorithmen zur fahrtkonkreten Anschlusssicherung

5.2.1 Vorgehensweise

Vorgestellt wird zunächst ein allgemein gültiger Algorithmus, der im Weiteren als Basisalgorithmus zur Anschlusssicherung bezeichnet wird. Darauf aufbauend werden mehrere Sondervarianten beschrieben. Der Basisalgorithmus setzt sich aus zwei Prüfblöcken zusammen, einem Block zur Prüfung des Anschlussbedarfs und einem Block zur Prüfung der Anschlussgewährung. Der erste Block gilt als Vorprüfung oder Einlaufphase des zweiten Prüfblockes, im zweiten Block werden das Zustandekommen des Anschlusses geprüft und erforderlichenfalls Maßnahmen zu seiner Behandlung vorbereitet. Das erfordert, den zweiten Block aus mehreren Bestandteilen zusammenzusetzen. Diese werden getrennt detailliert erklärt. Anschließend erfolgt das Zusammensetzen aller Bestandteile zum gesamten Algorithmus. Nach der Vorstellung des Basisalgorithmus werden zwei an abweichenden Bedingungen angepasste Varianten des Algorithmus vorgestellt.

Die Algorithmen werden wie gewohnt in zwei Formen dargestellt, in Textform und mit Parametern. Da dieser Teil auch eng mit den anderen drei Modellen zusammenarbeitet, werden die Schnittstellen vom ÖV-Modell zu anderen Modellen mit deren Inhalten genau gekennzeichnet und erklärt.

5.2.2 Übersicht über den Basisalgorithmus

Zunächst soll eine Übersicht über den Basisalgorithmus gegeben werden. In ihr werden die wesentlichen Prüfungsschritte zusammengefasst und dargestellt.

Der Basisalgorithmus beginnt mit dem Erfassen eines Fahrzeugs des öffentlichen Verkehrs. Nach der Anmeldung des Fahrzeugs wird im ersten Prüfungsblock sein Anschlussbedarf geprüft. Diese werden in dem folgenden Kapitel 5.2.3 detailliert erläutert. Wenn keine Anschlussbeziehungen vorhanden sind, wird das Prüfen der Anschlusssicherung beendet und mit dem Prüfen „Verbesserung der Pünktlichkeit“ fortgefahren, welche unter Anschnitt 5.1 beschrieben ist.

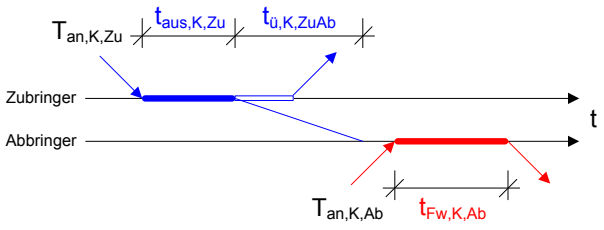
Beim Bedarf einer vorhandenen Anschlussbeziehung wird das Zustandekommen des Anschlusses im zweiten Prüfungsblock geprüft. Zunächst ist erforderlich, zwei mögliche Fälle zum Zustandekommen eines Anschlusses zu betrachten:

- Die öffentlichen Verkehrsmittel eines Anschlusses kommen in der richtigen Reihenfolge.
- Der Abbringer muss auf den Zubringer warten.

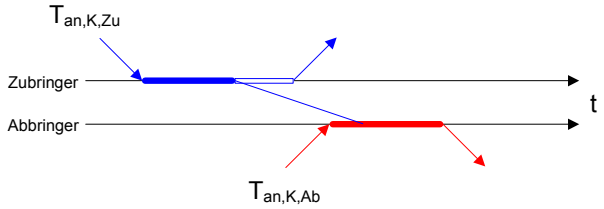
Beim ersten Fall können die umsteigenden Fahrgäste des Zubringers entweder vor Ankunft des Abbringers oder während des Fahrgastwechsels des Abbringers den Umsteigeplatz erreichen. Beim zweiten Fall können die Fahrgäste ohne zusätzliches Warten umsteigen, aber der Abbringer muss warten. Abbildung 35 zeigt schematisch die genannten Fälle.

Fall 1: Die Reihenfolge ist richtig und zu sichern

1.1: $T_{an,K,Zu} + t_{aus,K,Zu} + t_{ü,K,ZuAb} <= T_{an,K,Ab}$



1.2: $T_{an,K,Zu} + t_{aus,K,Zu} + t_{ü,K,ZuAb}$
$<= T_{an,K,Ab} + t_{Fw,K,Ab}$



Fall 2: Der Abbringer muss warten

$T_{an,K,Zu} + t_{aus,K,Zu} + t_{ü,K,ZuAb}$
$> T_{an,K,Ab} + t_{Fw,K,Ab}$

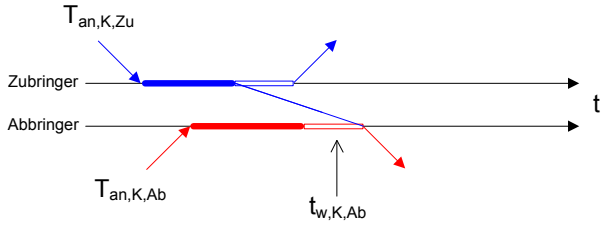


Abbildung 35: Zustandekommen eines Anschlusses

Wenn der Abbringer auf den Zubringer warten muss, was zusätzliche Verspätung für den Abbringer bedeutet, lässt die Prüfung zur Anschlussgewährung anhand weiterer verkehrlicher und betrieblicher Randbedingungen zwischen „Anschluss sichern“ oder „Anschluss aufgeben“ entscheiden. Danach endet der Prüfungsprozess und die im Prüfungsprozess ermittelten Freigaben werden endgültig fixiert.

Der oben erläuterte Prüfungsprozess lässt sich über den Entscheidungsbaum in Abbildung 36 übersichtlich darstellen.

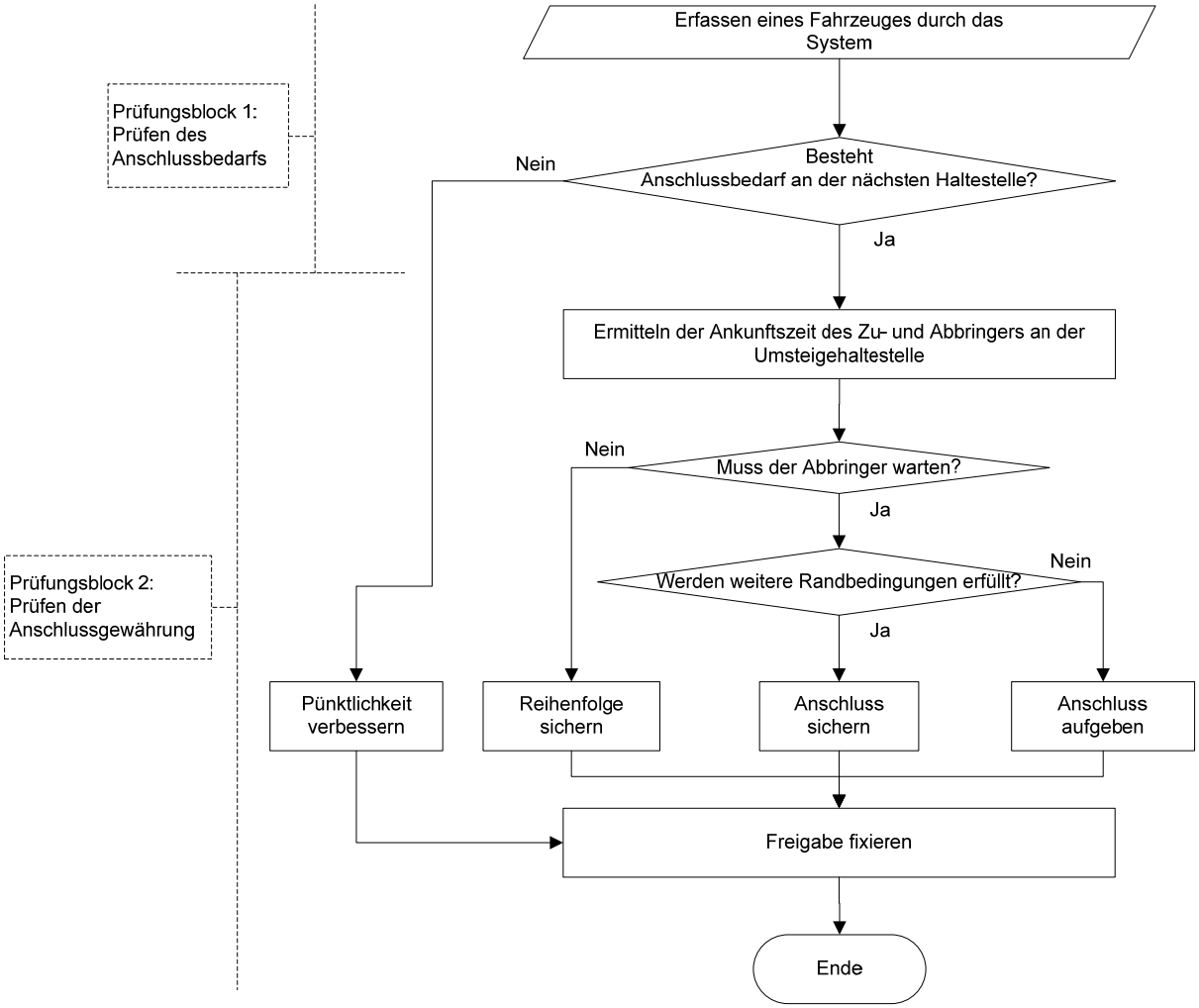


Abbildung 36: Übersicht des Prüfungsprozesses der Anschlusssicherung

5.2.3 Prüfen des Anschlussbedarfs

Das Prüfen des Anschlussbedarfs eines erfassten Fahrzeugs dient überwiegend der Verbindung mit der Datenbank Anschlussliste und weiteren Datenbanken. Anhand der Datenbanken kann zum einen geprüft werden, ob das angemeldete Fahrzeug überhaupt dort präsentiert wird und zum anderen sind die folgenden Fragen zu beantworten:

- Welche Fahrzeuge sind am Anschluss beteiligt?
- Welche Rolle nehmen die einzelnen Fahrzeuge ein?
- Bestehen Eingriffsmöglichkeiten durch eine LSA-Steuerung?

- Für welches Verkehrsmittel ist eine Freigabeanforderung nötig?

Bei den letzten zwei Fragen wird geprüft, ob ein öffentliches Verkehrsmittel vor der Ankunft an der Haltestelle an einer LSA vorbeifährt und eine zeitgerechte Freigabe dafür gebraucht wird. Der Grund dafür ist, dass die Freigabe die Ankunftszeit des Verkehrsmittels an der Haltestelle beeinflusst und die Ankunftszeit des Verkehrsmittels an der Haltestelle eine der wichtigsten Eingangsgrößen der Anschlussprüfung ist. Außerdem wird durch die Prüfung der Rollen der beiden Fahrzeuge geklärt, um welche Anschlussart es sich handelt.

Die ersten zwei Fragen sind über die Anschlussliste klärbar und die letzten zwei lassen sich über eine Datenbank prüfen, die unabhängig von der Anschlussliste ist, aber in diese integriert werden kann. Diese Datenbank muss Informationen über das Vorhandensein von LSA und deren Betriebszeiten enthalten. Es ist zu prüfen, ob sich eine LSA auf der Strecke zwischen dem Meldepunkt und der nächsten Haltstelle befindet. Darüber hinaus ist die Einsatzzeit der LSA zu beachten. Es kann passieren, dass die Anschlussprüfung gerade zu einer Tageszeit stattfindet, in der die LSA ausgeschaltet ist. Außerdem sollten in der Datenbank Informationen zur Verfügbarkeit der LSA verhandeln sein.

Nach Beantworten dieser Fragen ist die Vorprüfung im ersten Prüfungsblock beendet, und die Prüfungen im zweiten Block beginnen.

Der Algorithmusteil zum Prüfen des Anschlussbedarfs wird dann wie in Abbildung 37 dargestellt erweitert.

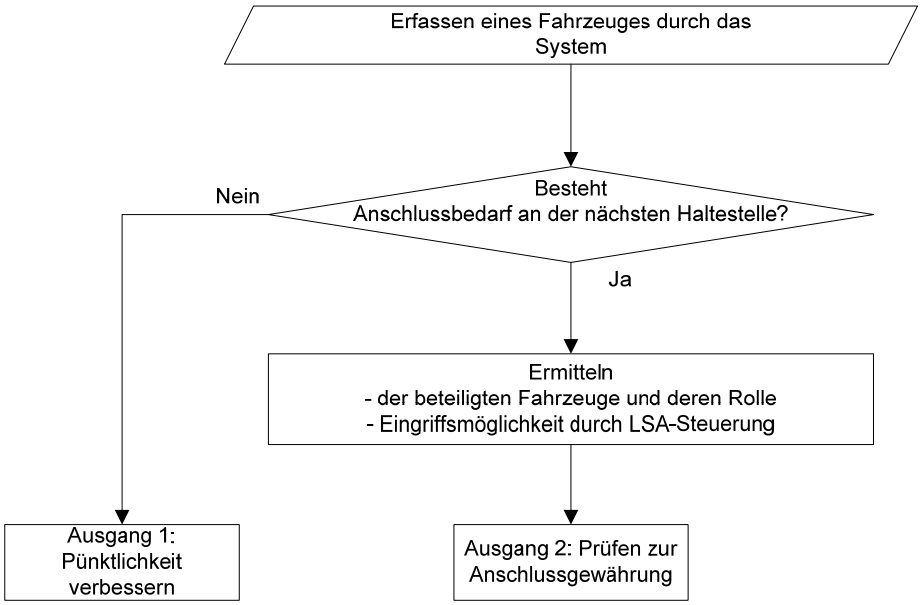


Abbildung 37: Algorithmus zum Prüfen des Anschlussbedarfs

5.2.4 Prüfen der Anschlussgewährung

5.2.4.1 Vorgehensweise

Der Algorithmus muss für jede Zufahrt aus jeder Einfahrrichtung gültig sein. Es sollte sowohl für Anschlusspunkte mit LSA als auch für solche ohne LSA funktionsfähig sein. Das ist insbesondere deshalb notwendig, weil Umsteigepunkte verschieden im Netz gelegt sein können. Sie können an einem Knoten liegen oder auf der freien Strecke, der Knoten kann LSA-gesteuert sein oder nicht, es kann eine LSA unmittelbar vor einer Umsteigehaltestelle liegen oder etwas weiter entfern oder überhaupt nicht vorhanden sein. Diese verschiedenen Situationen sind immer denkbar. Selbst wenn eine LSA vorhanden ist, muss berücksichtigt werden, ob sie ein- oder ausgeschaltet ist. Das bedeutet, dass der Algorithmus für jede Situation mit oder ohne LSA, ein- oder ausgeschalteter LSA, nutzbar sein soll. Bauliche Änderungen sollten durch Mausklick in der Anschlussliste sowie anderen verbundenen Datenbanken einfach aktualisierbar sein.

Zunächst sollen wesentliche Grundfragen geklärt werden. Die Einbindung in die Schemata erfolgt später. Wenn ein Abbringer auf einen Zubringer warten müsste, gibt es grundsätzlich zwei Handlungsoptionen:

- Es kann geprüft werden, ob eine frühere Freigabe für den Zubringer möglich ist, ohne nennenswerte Nachteile für andere Verkehrsteilnehmer zu schaffen. Das wird letztlich im MIV- oder LSA-Modell entschieden.
- Es kann geprüft werden, ob die Randbedingungen des Abbringers ein Warten erlauben.

Beide Optionen werden im Algorithmus geprüft. Im Zusammenhang mit der zweiten Option gibt es theoretisch eine weitere Möglichkeit, und zwar gezielt eine spätere Freigabe für den Abbringer im Zulauf zum Anschlusspunkt zu suchen. Diese Möglichkeit ist allerdings im Allgemeinen aus Sicht der an der Haltestelle aussteigen wollenden oder dort wartenden Fahrgäste nicht besonders sinnvoll, da die spätere Freigabe für den Abbringer nicht nur ein Verschieben der Wartezeit von der Haltestelle an die LSA sondern auch spätere Ankunft bedeutet. Außerdem wurden im Vorfeld schon Freigaben für die Zufahrten in Abhängigkeit von der Pünktlichkeit errechnet, die der Prüfung zugrunde liegen. Das bedeutet, ein gezieltes Suchen nach einer späteren Freigabe für den Abbringer widerspricht dem Ziel der

fahrtkonkreten LSA-Beeinflussung und wird deswegen im Algorithmus ausgeschlossen. Allerdings kann es vorkommen, dass eine frühere LSA-Freigabe des Zubringers in Verbindung mit einer späteren LSA-Freigabe des Abbringers möglich ist. Für diesen Fall wird die spätere Freigabe des Abbringers in die Prüfung des Anschlusses einbezogen.

Wichtig ist auch, die Frage zu klären, welche der beiden Möglichkeiten „Warten des Abbringers“ und „eine frühere Freigabe für den Zubringer“ zuerst geprüft werden soll. Wenn eine Freigabe für den Zubringer nicht erforderlich ist, ist nur das Warten des Abbringers zu prüfen. Wenn eine Freigabe für den Zubringer möglich ist, dann ist es sinnvoll, die Freigabe dem Prüfen des Wartens des Abbringers vorzuziehen, da sie die Wartezeit des Abbringers verringern kann. Allerdings gibt es Fälle, in denen sich die frühere Freigabe des Zubringers nicht mehr lohnt, da die Verzögerung des Abbringers vor der LSA größer als seine ursprüngliche Wartezeit ist. Das wird im Algorithmus geprüft.

Über die Frage, ob der Abbringer warten kann, entscheiden die verkehrlichen, betrieblichen und baulichen Randbedingungen des Abbringers. Davon enthält die Frage

- ob ein baulich bedingt unabhängiges Warten des Abbringers aus Sicht der anderen Verkehrsteilnehmer möglich ist

eine herausgehobene Position in der Prüfung. Damit wird zunächst geprüft, ob das Warten baulich bedingt aus Sicht der Behinderungen für die anderen Verkehrsteilnehmer, insbesondere den motorisierten Individualverkehr, möglich ist. Der Grund dafür ist, dass die Behinderung einerseits die Akzeptanz des öffentlichen Verkehrs beeinträchtigt und andererseits das verlängerte Halten des MIV zusätzliche Umweltschäden verursacht.

Zur Prüfung des baulich bedingt unabhängigen Wartens gehört zunächst das Prüfen der baulichen Randbedingungen der Knotenpunkte. Beispielsweise kommt nach [17] eine Zeitinsel, häufig als dynamische Haltestelle bezeichnet, in der Praxis zur Anwendung vor. Mit Rot-Schaltung hinter dem haltenden öffentlichen Verkehrsmittel wird ein Bereich der Straße für den anderen Verkehr, insbesondere den MIV, gesperrt. Wenn der Abbringer des ÖV nach dem Fahrgastwechsel wegen Anschlussgewährung noch weiter wartet, können die Fahrer des MIV das schwer verstehen, da sie das Problem der Anschlussgewährung nicht kennen. Das schadet der Akzeptanz des ÖV. Technisch ist es sogar möglich, die LSA während des verlängerten Wartens des Abbringers durch Zeitsteuerung auszuschalten. Das ist aber äußerst gefährlich. Für Anschlüsse der Kategorie 1 und 2 sollte demzufolge die Haltestelle baulich geeignet sein. Dasselbe trifft zu, wenn sich haltende öffentliche Verkehrsmittel und der IV eine Fahrspur teilen müssen. Deswegen ist es sehr sinnvoll, die Behinderung

hinsichtlich der unterschiedlichen Tageszeit zu prüfen. Es ist durchaus üblich, dass die Stärke der anderen Verkehrsströme im Nacht- und Wochenendfrühverkehr relativ gering ist, während in derselben Zeit die Anschlusssicherung besonders wichtig ist.

Eine Übersicht über den Algorithmus zur Prüfung der Anschlussgewährung ist in Abbildung 38 dargestellt. Mit der Eingangssituation „Erfassen des Zu- und Abbringers“ wird ein bestätigter Anschlussbedarf aus dem Prüfungsblock 1 signalisiert. Der Algorithmus enthält fünf wesentliche Bestandteile, die in weiteren Kapiteln noch detailliert vorgestellt werden. Darin werden nachstehende Fragen abgearbeitet:

- Teil1: Muss der Abbringer warten?
- Teil 2: Steht zum Warten genügende Zeit aus einer Verfrühung zur Verfügung?
- Teil 3: Ist eine frühere Freigabe aus Sicht des Zubringers möglich?
- Teil 4: Ist die frühere Freigabe des Zubringers aus Sicht des Abbringers zielführend? Es ist letztlich zu prüfen, ob aufgrund der neuen früheren Freigabe des Zubringers der Abbringer mehr Verspätung in Kauf nehmen muss.
- Teil 5: Ist das Warten des Abbringers aus Sicht der verkehrlichen, betrieblichen und baulichen Randbedingungen möglich?

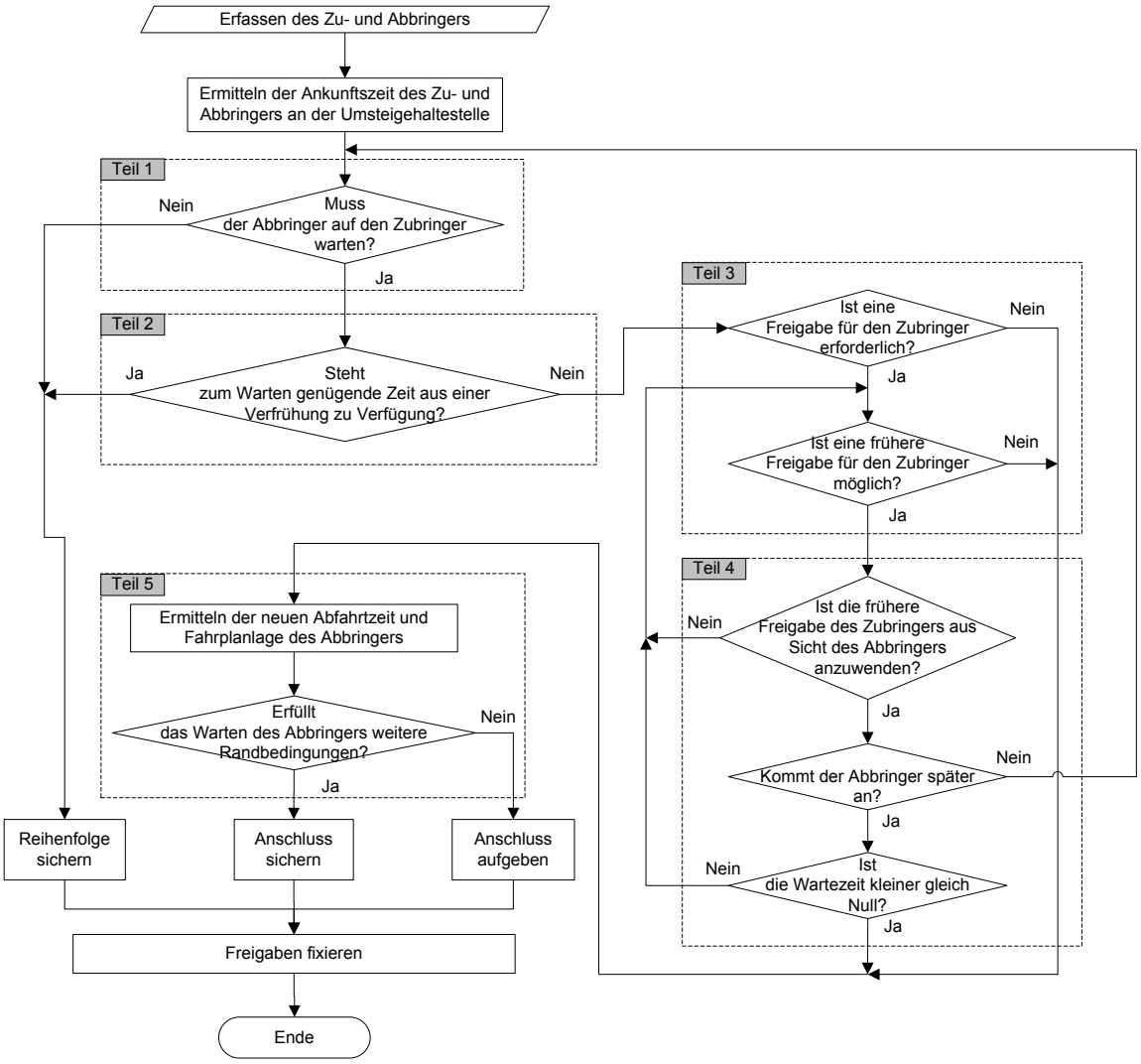


Abbildung 38: Übersicht des Algorithmus zur Anschlussgewährung mit vereinfachten Bestandteilen

5.2.4.2 Prüfen der Wartenotwendigkeit des Abbringers

Die Notwendigkeit des Abbringers, auf den Zubringer zu warten, ist von den Ankunftszeiten des Zu- und Abbringers, der Haltestelleaufenthaltszeit sowie der Zeit für das Zurücklegen des Weges zwischen den Halteplätzen von Zu- und Abbringer abhängig.

Wenn der Abbringer auf den Zubringer warten muss, müssen verschiedene Fälle unterschieden werden. Diese stellt Abbildung 39 dar. In Fall 1 kommt der Abbringer verfrüht an und kann während des Abbaus der Verfrühung auf den Zubringer warten und den Anschluss sichern. In Fall 2 muss der Abbringer trotz der verfrühten Ankunft über die

planmäßige Abfahrtszeit hinaus warten. In Fall 3 kommt der Abbringer pünktlich oder verspätet an und muss nach dem Fahrgastwechsel weiter warten. Im Fall 1 kommt der Anschluss automatisch zustande, für die Fälle 2 und 3 ist es sinnvoll, die Möglichkeit einer früheren Freigabe für den Zubringer zu prüfen.

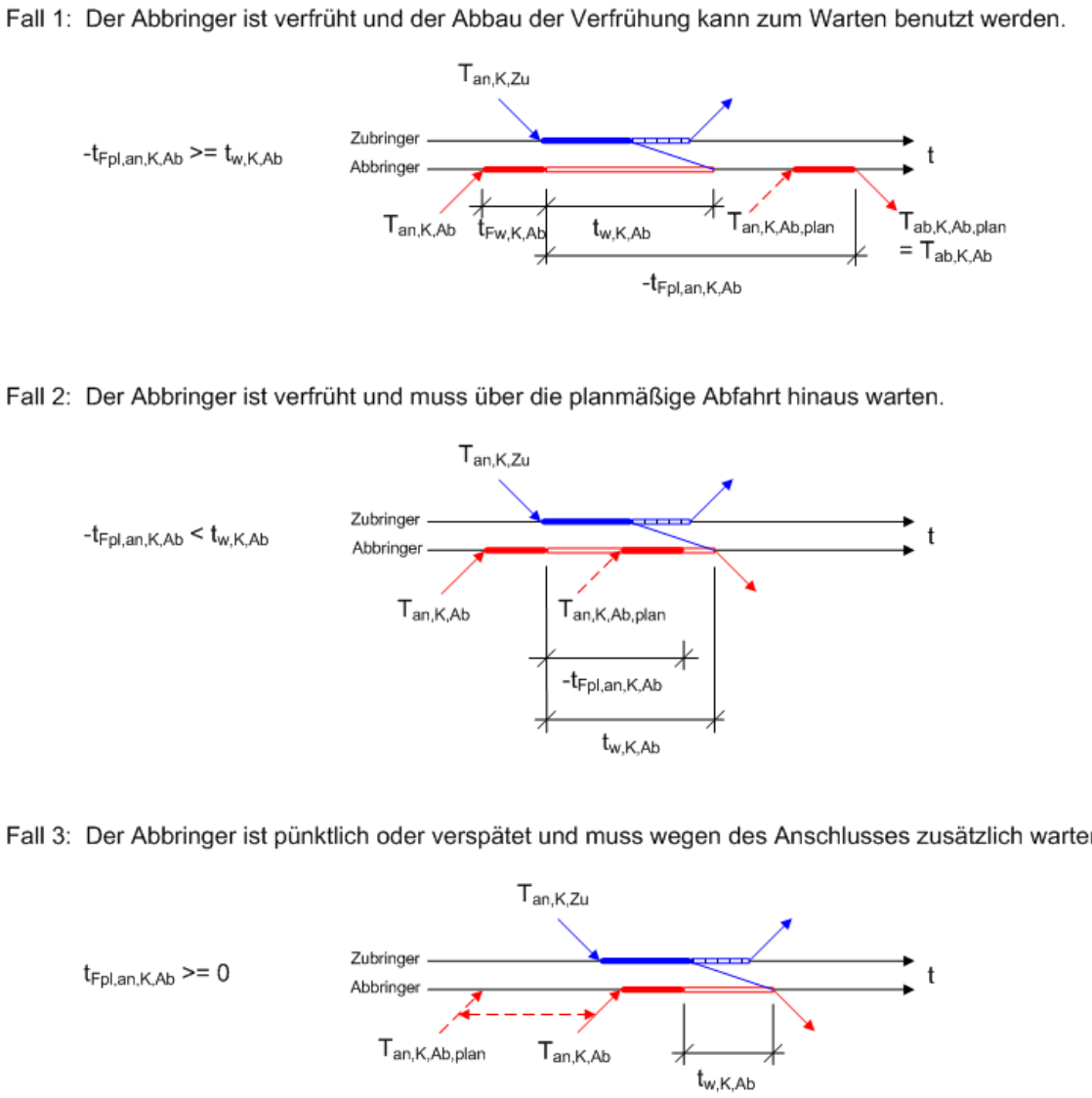


Abbildung 39: verschiedene Fälle des Wartens des Abbringers

Die Wartezeit des Abbringers an einer Umsteigehaltestelle lässt sich nach Formel (6-1) ermitteln.

$$t_{w,K,Ab} = T_{an,K,Zu} + t_{aus,K,Zu} + t_{ü,K,ZuAb} - T_{an,K,Ab} - t_{Fw,K,Ab} \qquad \text{Formel (6-1)}$$

Wenn $t_{w,K,Ab}$ kleiner oder gleich Null ist, kommen Zu- und Abbringer in einer für die Anschlussgewährung richtigen Reihenfolge, die gesichert werden soll. Im anderen Fall muss der Abbringer warten. Das führt zu weiteren Prüfungen. Aus Sicht der weiteren Prüfung

könnte es durchaus passieren, dass ein Anschluss mit einer ganz geringen Wartezeit aufgrund harter Grenzwerte anderer Randbedingungen aufgegeben werden muss. Es entsteht eine Situation, dass die umsteigenden Fahrgäste den Abbringerzug noch berühren, nicht aber erreichen können. Bei einer solchen Situation ärgern sich die Fahrgäste sehr. Um diesen Fall in dem zukünftigen Anschlusssicherungskonzept zu vermeiden, wird eine zusätzliche Kenngröße

- Sichtzeit t_{Sicht}

in die Prüfung eingeführt. Die Sichtzeit liegt pauschal im unteren Sekundenbereich. Diese Prüfung widerspricht nicht der Prüfung der anderen Randbedingungen, da die Wartezeit im Bereich von wenigen Sekunden im Vergleich zur Schwankung der Behinderungszeit im Fahrtverlauf relativ gering ist. Das Fahrpersonal des Abbringers wird vorher über das Annähern des Zubringers informiert. Da der Fahrer bei dieser Situation sogar die Türschließung einige Sekunden später einleiten kann, spart er damit die Zeit für die zweite Abfertigungszeit. Dadurch kann die Zufriedenheit der Fahrgäste deutlich erhöht werden. Aufgrund des Aufbaus des Algorithmus wird die Prüfung der Wartezeit im Sinn der Sichtzeit im Algorithmusteil zum Prüfen der Nutzbarkeit einer Verfrühung des Abbringers in den Abbildungen 40 und 41 vorgestellt.

5.2.4.3 Prüfen der Nutzbarkeit einer Verfrühung des Abbringers

Da es möglich ist, dass die angesichts der Verfrühung ohnehin notwendige Aufenthaltszeit bis zur planmäßigen Abfahrtszeit für das Warten auf den Zubringer teilweise oder ganz genutzt werden kann, wird zuerst die Verfrühung des Abbringers geprüft. Reicht die Aufenthaltszeit zum Abbau der Verfrühung aus, kann der Anschluss während des Aufenthalts gesichert werden. Darüber hinaus muss der Abbringer noch zusätzlich warten, in günstigen Fällen bis zum Ende der Sichtzeit, ansonsten muss eine gesonderte Prüfung erfolgen. Die Abbildungen 40 und 41 stellen den Algorithmusteil zum Prüfen der Nutzbarkeit einer Verfrühung des Abbringers dar.

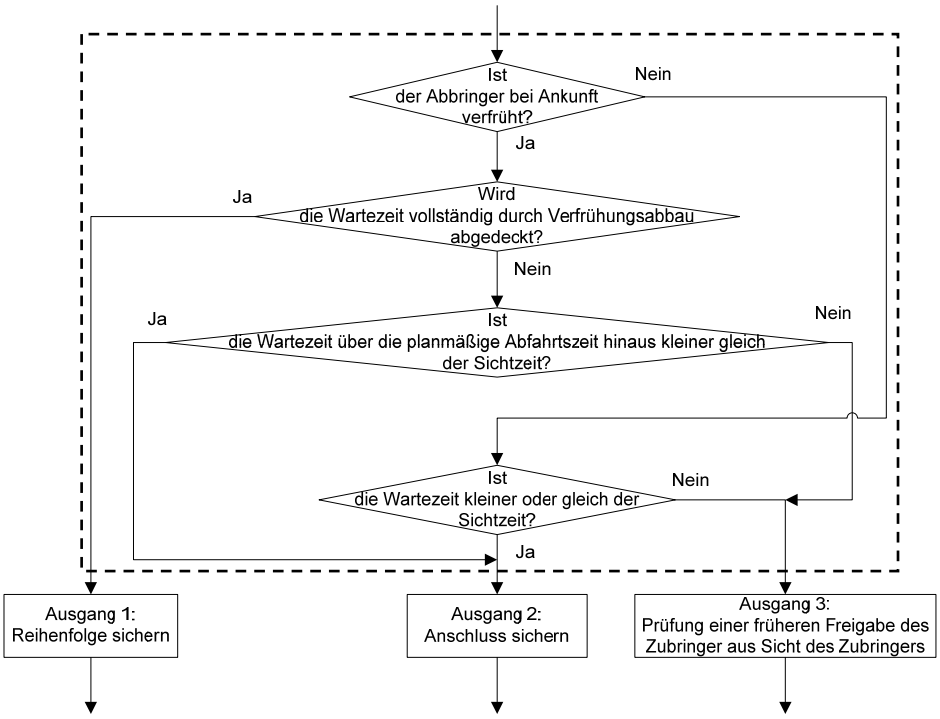


Abbildung 40: Algorithmusteil zum Prüfen der Nutzbarkeit einer Verfrühung des Abbringers in Textform

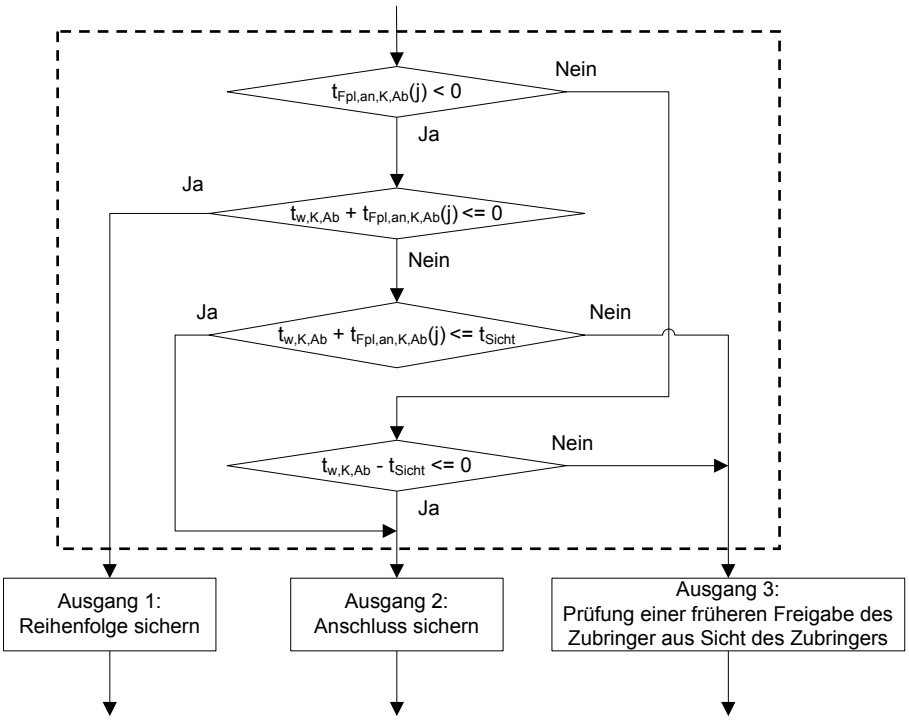


Abbildung 41: Algorithmusteil zum Prüfen der Nutzbarkeit einer Verfrühung des Abbringers mit Parametern

5.2.4.4 Prüfen einer früheren Freigabe des Zubringers aus Sicht des Zubringers

Bevor eine frühere Freigabe für den Zubringer in diesem Abschnitt geprüft werden kann, ist noch zu klären, ob eine solche frühere Freigabe für den Zubringer erforderlich und möglich ist. Außerdem soll eine Prüfungsreihenfolge aller möglichen Freigaben festgelegt werden.

Die möglichen früheren Freigaben werden über das MIV- oder LSA-Modell ermittelt. Ein besonderer Fall dieser Prüfung ist, dass sich der Zubringer noch so weit entfernt vom Knoten befindet, dass ein genaues Ermitteln der Freigabe für den Zubringer nicht möglich ist. Das könnte passieren, wenn planmäßig für den Abbringer schon eine Synchronisationszeit vorgesehen ist.

Es wird vorgegeben, dass die Änderung der Freigabe als negativ bezeichnet wird, wenn die neue Freigabe zeitiger ist. Anderenfalls ist die Änderung positiv. Da eine andere Freigabe des Abbringers mit einer früheren Freigabe des Zubringers verbunden sein kann, kommt der Abbringer theoretisch sowohl früher als auch später.

Für das Festlegen der Reihenfolge der Freigaben beim Prüfen sind die folgenden Regeln einzuhalten.

- **Regel 1: Freigabe mit kleinerer Folgeänderung des Abbringers hat Vorrang**.

  Das bedeutet zum Beispiel, von drei Änderungen der Freigabe, die der Abbringer infolge einer früheren Freigabe des Zubringers erfährt, hat eine von -5s Vorzug gegenüber einer von 0s. Diese hat wieder Vorrang gegenüber einer dritten, die eine Änderung von 30s hat.

- **Regel 2: Freigabe mit kleinerer Änderung des Zubringers hat Vorrang.**

  Das bedeutet, bei gleicher Änderung der Freigabe für den Abbringer ist bei mehreren Möglichkeiten zuerst die Freigabe mit kleinster Änderung für den Zubringer zu prüfen.

Im Algorithmus werden die Ankunftszeiten des Zu- und Abbringers anhand der Änderungen der Freigabe aktualisiert. Die neuen Ankunftszeiten werden in weitere Prüfungen aus Sicht des Zubringers und später des Abbringers einbezogen. Wenn die Prüfungen erfolgreich waren, wird diese frühere Freigabe des Zubringers als erfolgreich akzeptiert, anderenfalls verworfen. Die geänderten Ankunftszeiten des Zu- und Abbringers werden in dieser Situation einen Schritt zurückgesetzt. Danach wird erneut eine andere frühere Freigabe des Zubringers geprüft, sofern sie existiert.

Existiert keine weitere Möglichkeit zur neuen früheren Freigabe des Zubringers, erfolgt die Prüfung der Wartezeit des Abbringers. Gespeichert wird die Änderung zwischen der **neu zu prüfenden und der letzten akzeptierten** Freigabe.

Eine frühere Freigabe für den Zubringer bedeutet eine frühere Ankunft und erfordert, dass der Halteplatz frei ist. Andernfalls hat die neue Freigabe für den Zubringer keine Sinn mehr und entfällt. Eine frühere Freigabe des Zubringers führt aber auch zu einem früheren Ende des Fahrgastwechsels. Ist das Warten bis zur planmäßigen Abfahrt aufgrund der Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer nicht gestattet, dann entfällt diese Freigabe auch. Das zeigt, dass eine kurze Aufenthaltsmöglichkeit für einen potenziellen Zubringer aus Sicht der Anschlusssicherung sehr wichtig ist.

Der Algorithmusteil zum Prüfen einer früheren Freigabe des Zubringers aus Sicht des Zubringers wird in Abbildung 42 in Textform und in Abbildung 43 mit Parametern dargestellt.

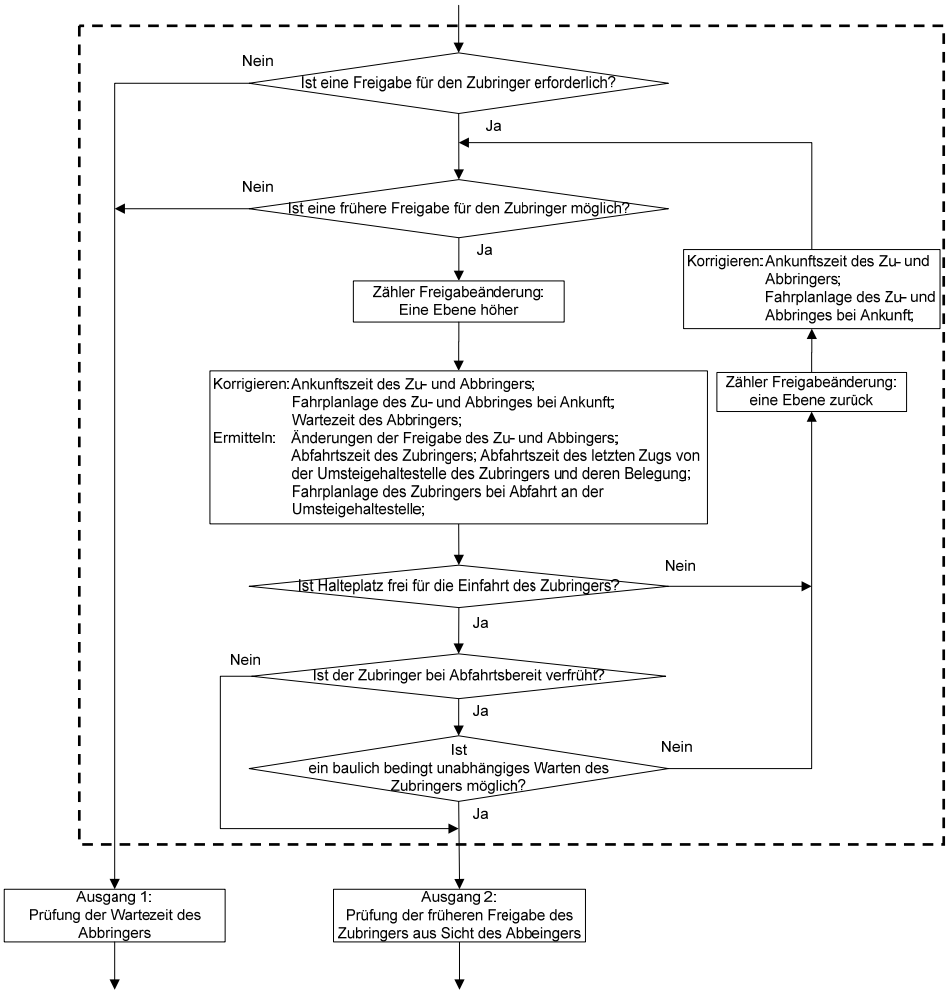


Abbildung 42: Algorithmusteil zum Prüfen einer früheren Freigabe des Zubringers aus Sicht des Zubringers in Textform

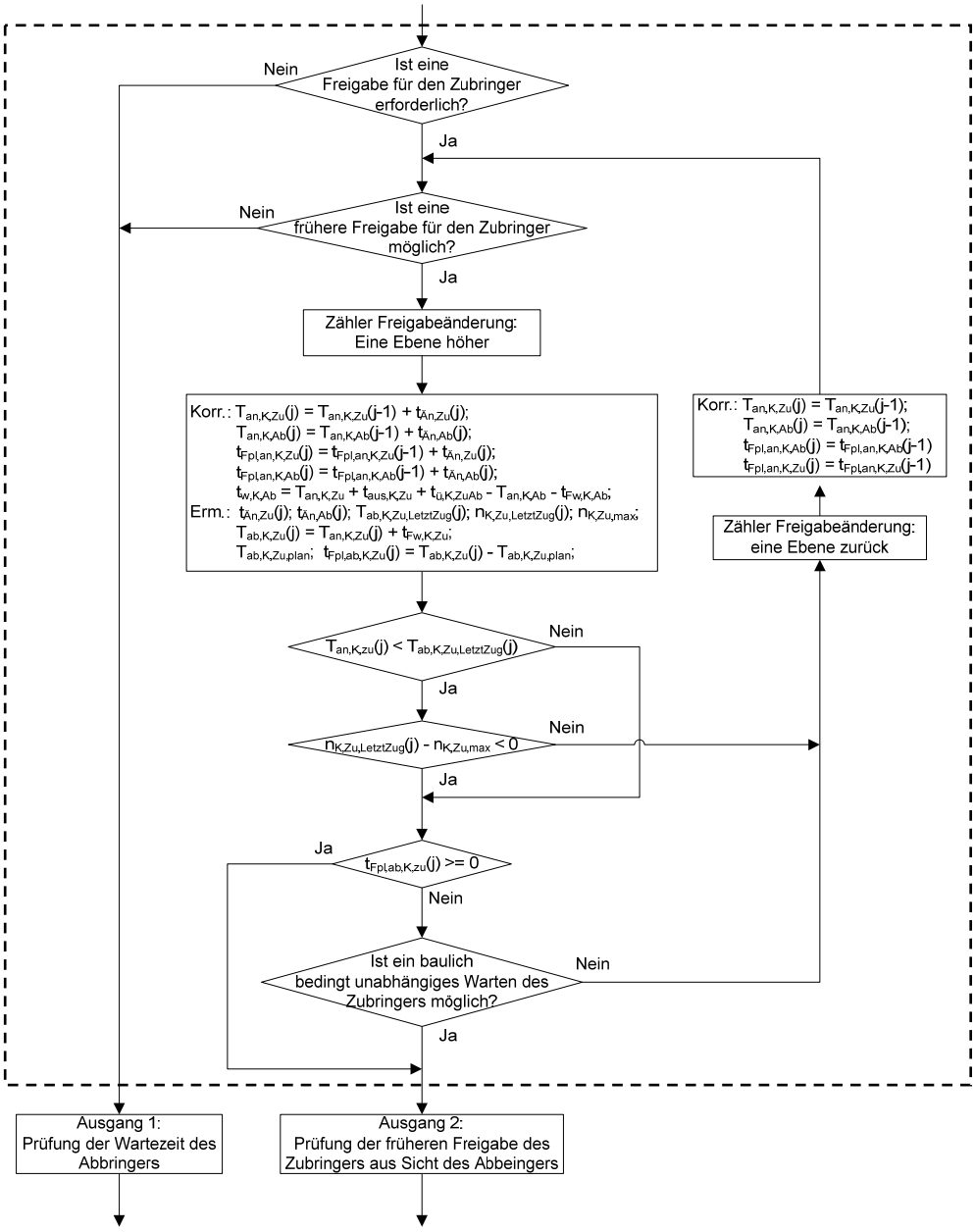


Abbildung 43: Algorithmusteil zum Prüfen einer früheren Freigabe des Zubringers aus Sicht des Zubringers mit Parametern

5.2.4.5 Prüfen einer früheren Freigabe des Zubringers aus Sicht des Abbringers

Wenn eine frühere Freigabe aus Sicht des Zubringers möglich ist, muss sie dann aus Sicht des Abbringers weiter geprüft werden. Im Mittelpunkt der Prüfung steht die Änderung der Ankunft des Abbringers.

Kommt der Abbringer früher oder zum bisherigen Zeitpunkt, wird geprüft, ob der Abbringer noch warten muss. Dafür wird sich die Wartezeit des Abbringers um die Änderung der Freigabe des Zubringers vermindern. Anderenfalls wird die Wartezeit zusätzlich um die Änderung der Freigabe des Abbringers verringert. Ist die Wartezeit kleiner oder gleich Null, muss im Bestandteil 5 die Verspätung des Abbringers geprüft werden. Anderenfalls ist eine neue frühere Freigabe für den Zubringer zu prüfen.

Ist die Änderung der Freigabe des Abbringers größer als seine Wartezeit, ist die damit verbundene frühere Freigabe des Zubringers zu verwerfen und im Prüfungsteil 5 die Wartezeit sowie die Verspätung zu prüfen, weil der Abbringer mehr Verspätung als ursprünglich mit dem Warten in Kauf nehmen muss.

Die Abbildungen 44 und 45 stellen den Algorithmusteil in Textform und mit Parametern dar.

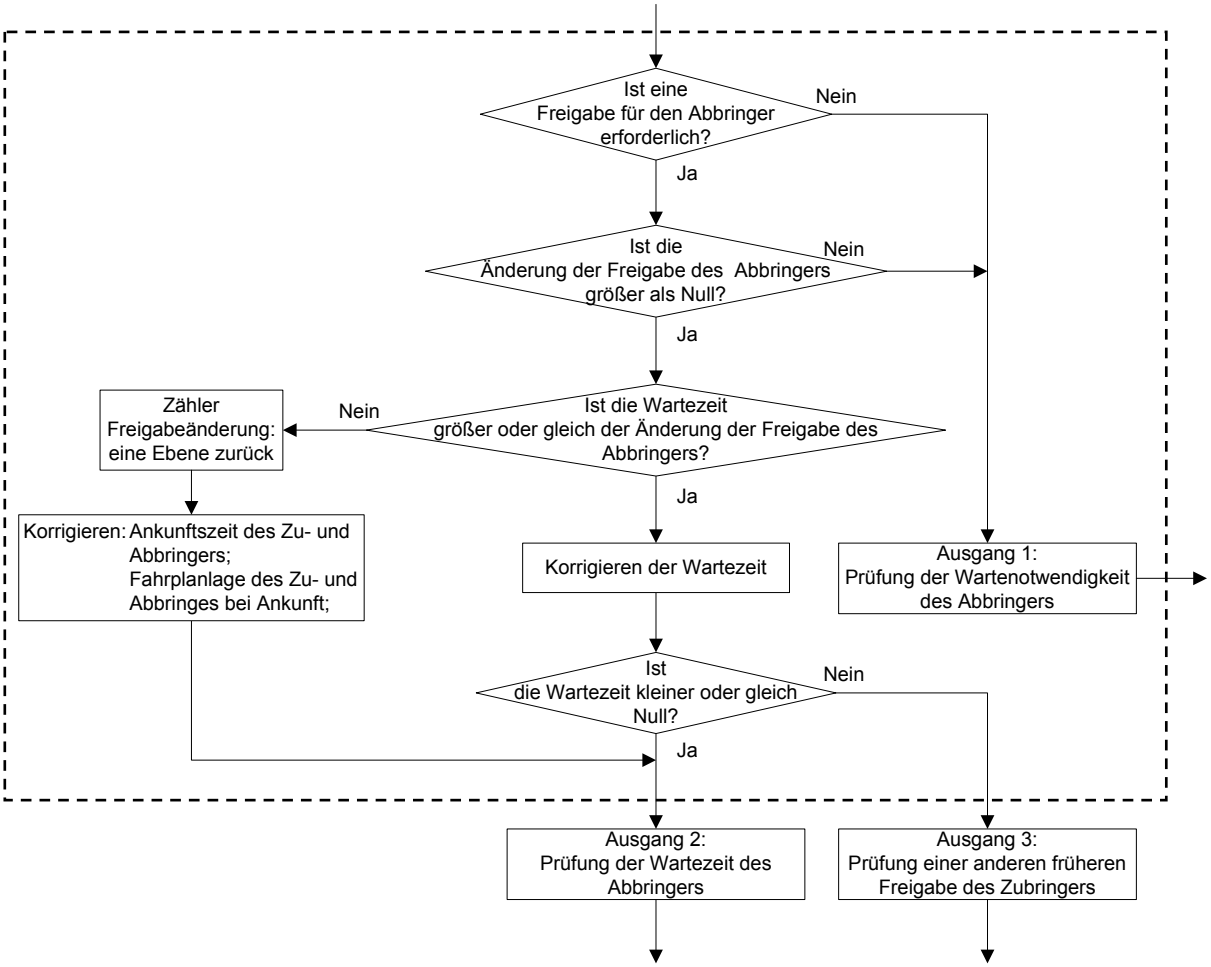


Abbildung 44: Algorithmusteil zum Prüfen einer früheren Freigabe des Zubringers aus Sicht des Abbringers in Textform

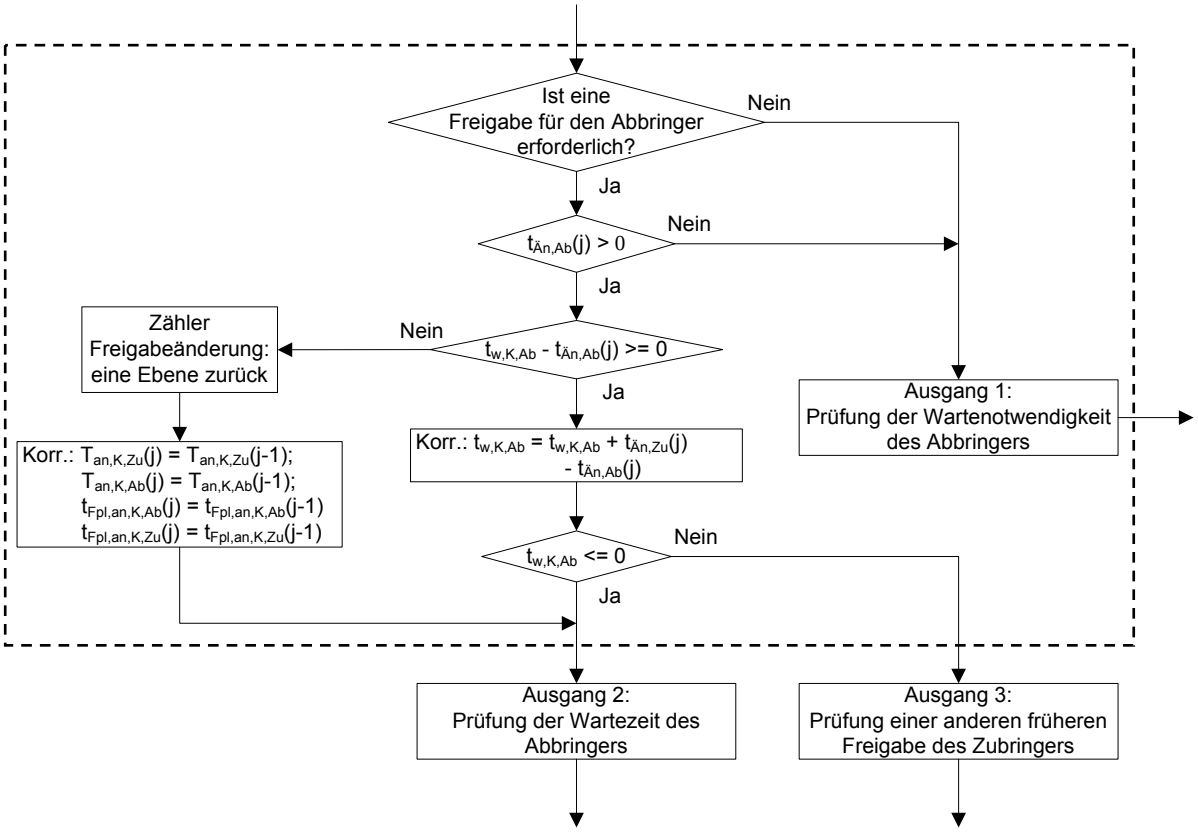


Abbildung 45: Algorithmusteil zum Prüfen einer früheren Freigabe des Zubringers aus Sicht des Abbringers mit Parametern

5.2.4.6 Prüfen der Wartezeit des Abbringers

Unabhängig davon, ob der Zubringer eine frühere Freigabe erhalten hat oder nicht, müssen sowohl die Dauer der Wartezeit als auch die Fahrplanlage des Abbringers nach verschiedenen Randbedingungen geprüft werden. Zu den Randbedingungen gehören:

- die Belegung der Haltestelle, da das Warten des Abbringers nicht die Einfahrt der folgenden Fahrten verhindern und kein Stau entsteht darf
- das baulich bedingt unabhängige Warten
- die maximal zulässige Wartezeit
- die maximal zulässige Verspätung

- die minimale Zeitreserve im Umlauf und bei der Anschlussgewährung der Kategorien 1 und 2 im weiteren Fahrtverlauf

Diese Randbedingungen gewährleisten, dass bei der Anschlusssicherung die Pünktlichkeit der Fahrten und die Stabilität des Betriebs gesichert werden.

Außerdem wird ein Prüfen der korrigierten Soll-Abfahrtszeit im Vergleich zur planmäßigen Abfahrtszeit des Abbringers vor der Prüfung der Randbedingungen durchgeführt. Falls der Abbringer nach der Anschlussgewährung bei Abfahrbereitschaft noch verfrüht ist, ist die Abfahrtszeit auf die Planmäßige zu korrigieren. Das könnte insbesondere dann passieren, wenn Synchronisationszeiten im Fahrplan des Abbringers eingeplant sind oder der Zubringer verfrüht angekommen ist.

In diesem Prüfungsabschnitt wird die Sichtzeit nicht mehr geprüft. Es entscheiden die übrigen Randbedingungen, ob der Anschluss zu sichern oder aufzugeben ist, da der Abbringer zusätzliche Verspätung aufgrund der späteren Freigabe oder des Wartens bekommt.

Der Algorithmusteil zum Prüfen der Wartezeit des Abbringers wird in den Abbildung 46 und 47 in Textform und mit Parametern dargestellt.

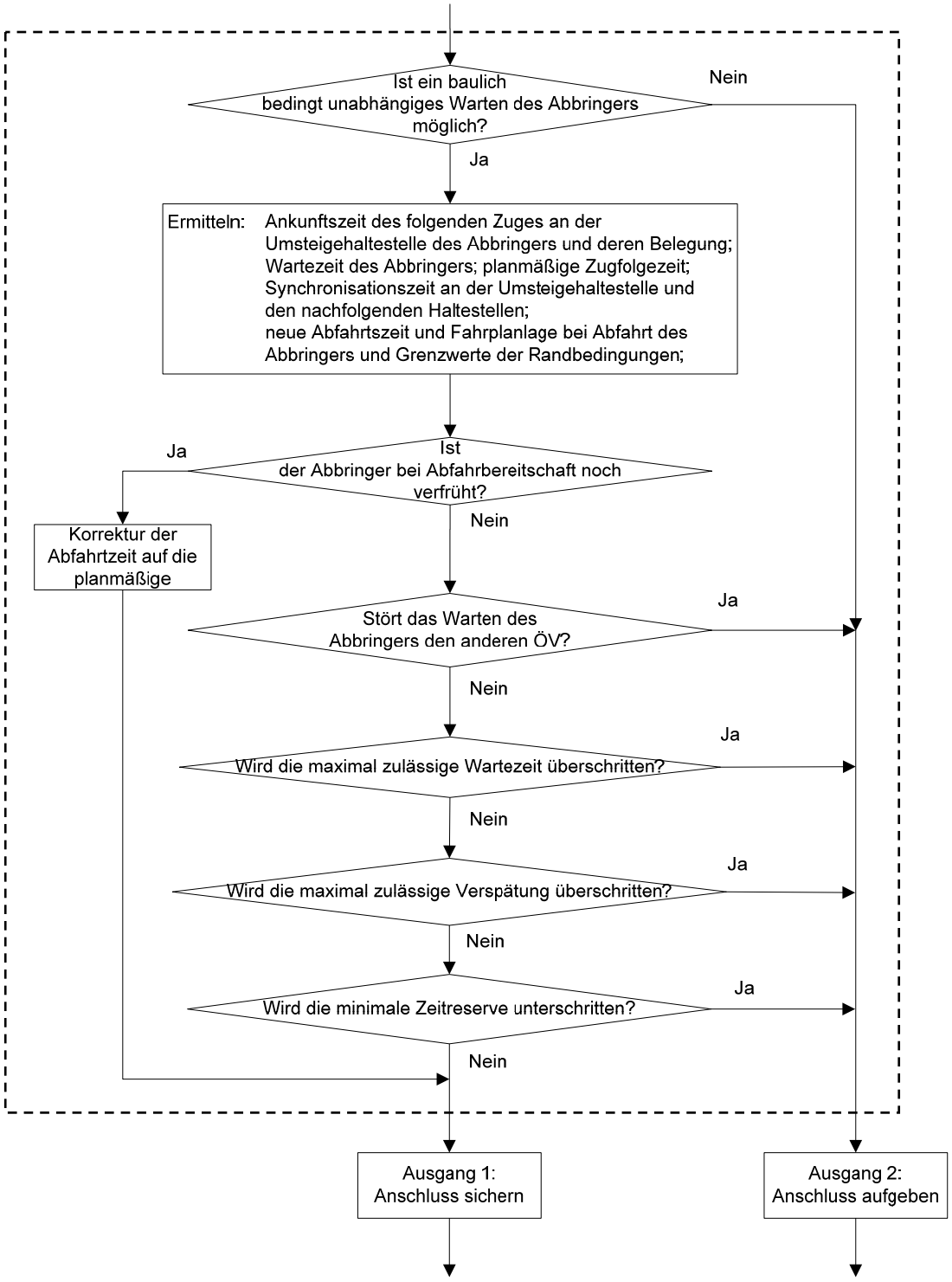


Abbildung 46: Algorithmusteil zum Prüfen der Wartezeit des Abbringers in Textform

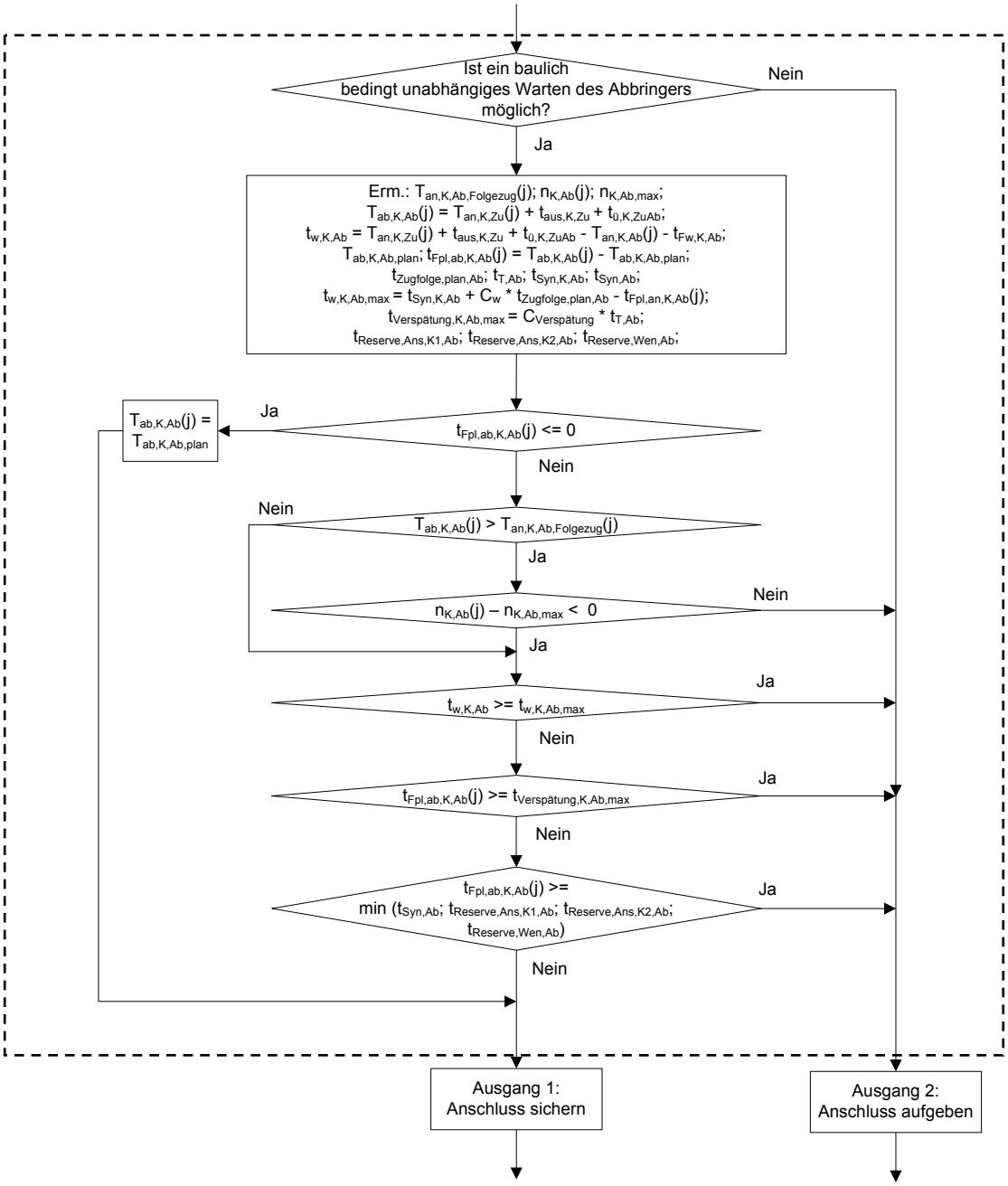


Abbildung 47: Algorithmusteil zum Prüfen der Wartezeit des Abbringers mit Parametern

5.2.4.7 Verknüpfen aller Bestandteile

Nachdem alle Bestandteile des Algorithmus zur Prüfung der Anschlussgewährung bekannt sind, wird der gesamte Algorithmus zur Prüfung der Anschlussgewährung über Verknüpfung aller Bestandteile in den Abbildungen 48 und 49 vorgestellt.

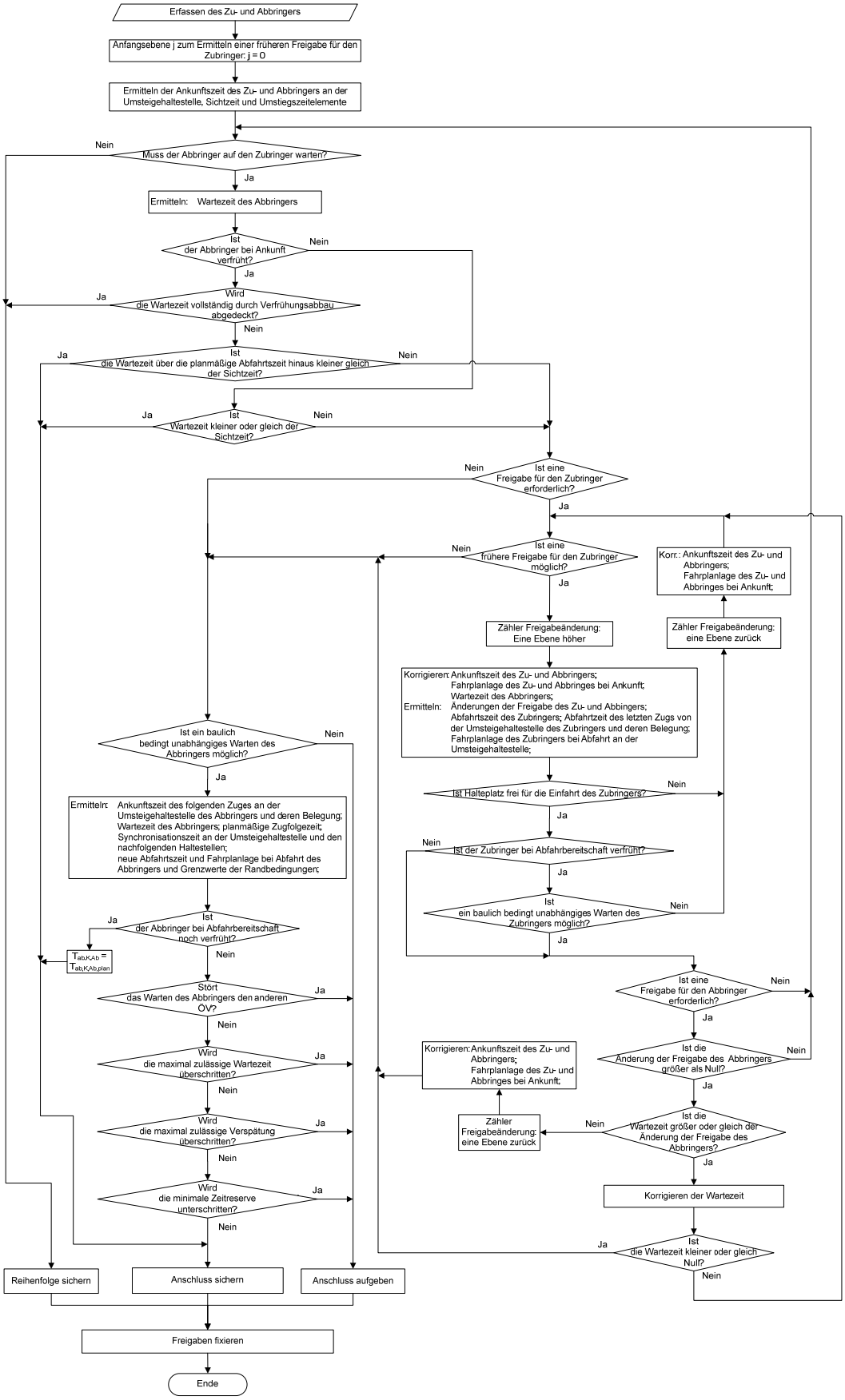


Abbildung 48: Algorithmus zum Prüfen der Anschlussgewährung in Textform

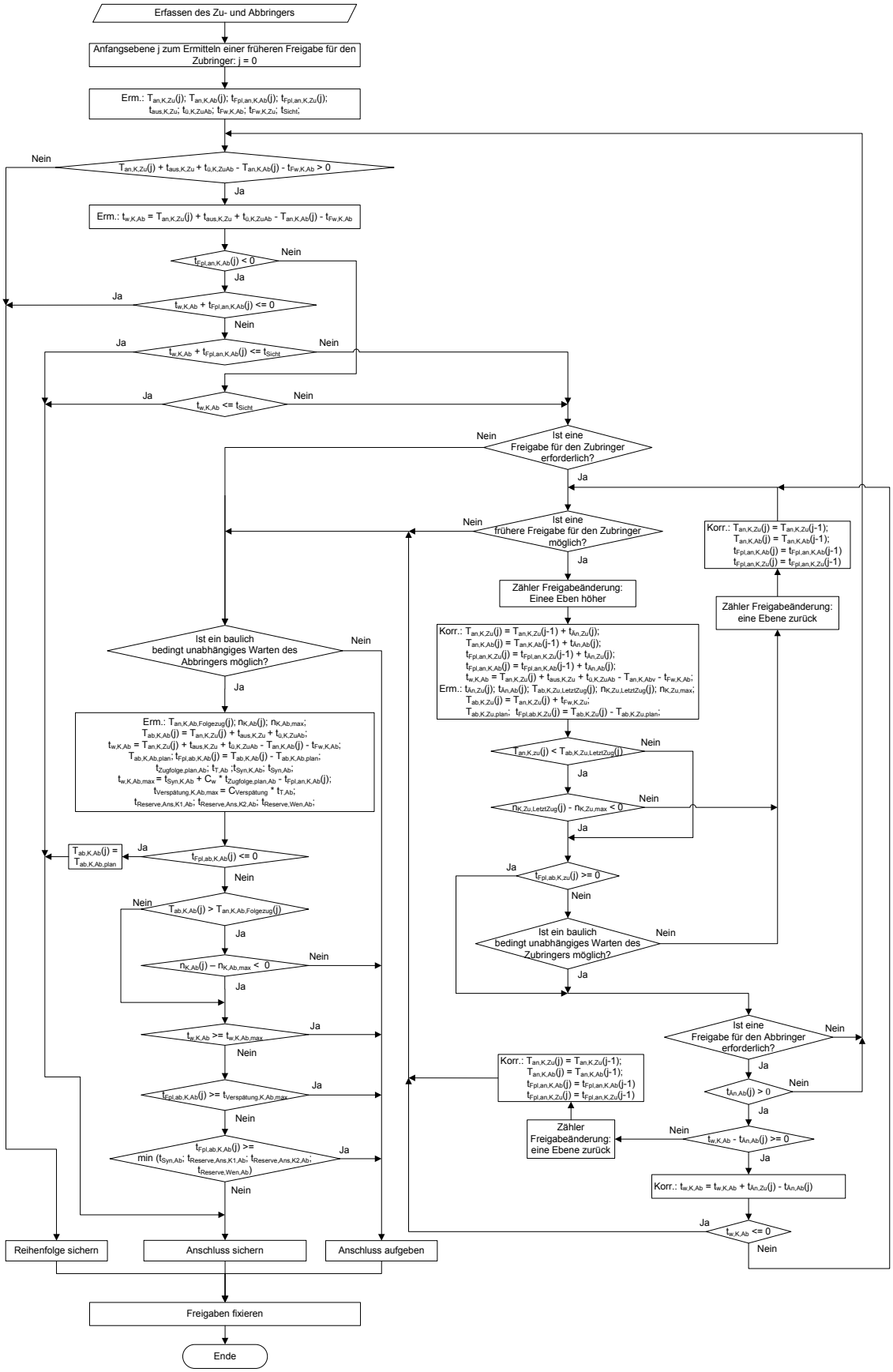


Abbildung 49: Algorithmus zum Prüfen der Anschlussgewährung mit Parametern

5.2.5 Basisalgorithmus zur Anschlusssicherung mit Schnittstellen

Da das Verfahren der Anschlusssicherung zusammen mit den anderen drei Modellen wirksam ist, wird ein vollständig dargestellter Basisalgorithmus zur Anschlusssicherung mit Schnittstellen zwischen dem ÖV-Modell und den anderen Modellen in Anhang 4.3 und 4.4 in Textform und mit Parametern vorgestellt. Zur Ergänzung werden in Anhang 4.7 die Eingangs- und Ausgangsgrößen an jeder Schnittstelle sowie die mitwirkenden Modelle und die in den Modellen durchgeführten Arbeiten tabellarisch beschrieben.

5.2.6 Anpassung des Basisalgorithmus an abweichende Bedingungen

Der Algorithmus ist zwar für die meisten Fälle einsetzbar, muss jedoch bei einigen besonderen Situationen angepasst werden.

5.2.6.1 Anschluss an einer Einfachhaltestelle

Wenn die beiden Verkehrsmittel einer Anschlussbeziehung gemeinsam eine Einfachhaltestelle benutzen, ist ein Warten aufeinander nicht möglich. Die einzige Möglichkeit, dort einen Anschluss zu gewähren, besteht darin, den Zubringer vor dem Abbringer einfahren zu lassen. Der Algorithmus findet bei dieser Situation keinen Einsatz. Wenn das Einfahren durch eine LSA geregelt werden kann, sollte bei Annähern der beiden Verkehrsmittel oder bei Verfrühung des Abbringers durch die Steuerung der LSA der Zubringer zuerst bedient werden.

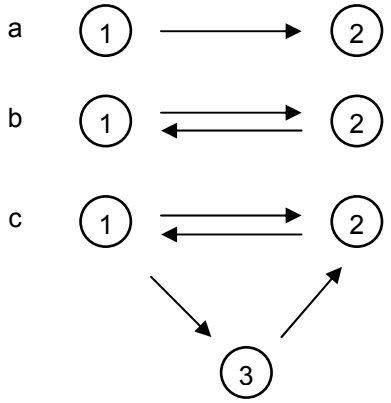
5.2.6.2 Anschluss ohne Verfügbarkeit kooperativer LSA am Eingangsknoten

Das Prüfen einer früheren Freigabe für den Zubringer ermöglicht, das Warten des Abbringers teilweise oder ganz zu verkürzen. Das erfordert jedoch eine kooperative LSA mit Beeinflussungsmöglichkeit durch das öffentliche Verkehrsmittel. Bei Verkehrsunternehmen oder an Knotenpunkten, die über keine solche Möglichkeiten verfügen, soll nur das Warten

des Abbringers geprüft werden, wenn der Abbringer auf den Zubringer warten muss. Der Algorithmus wird um das Prüfen einer früheren Freigabe für den Zubringer vereinfacht. Das Ergebnis mit Schnittstellen wird in Anhang 4.5 und 4.6 dargestellt.

5.2.6.3 Wechselseitige Anschlüsse

Bei richtungsorientierten Anschlüssen sind die beteiligten Verkehrsmittel nur Zubringer oder Abbringer. Bei wechselseitigen Anschlüssen ist jedes beteiligte Verkehrsmittel gleichermaßen Zu- und Abbringer. Beiden Anschlussarten und deren Kombination lassen sich grafisch nach der Bewegung der Fahrgastströme nach Abbildung 50 darstellen.



Fall a: richtungsorientierter Anschluss

Fall b: wechselseitige Anschlüsse mit n = 2 Verkehrsmitteln

Fall c: Kombination der beiden Anschlussarten mit n > 2 Verkehrsmitteln. Weitere vielfältige Kombinationen sind möglich. Hier wird ein Beispiel dargestellt.

Abbildung 50: grafische Darstellung richtungsorientierter und wechselseitiger Anschlüsse

Abbildung 50 zeigt eindeutig, dass alle Fälle auch als richtungsorientierte Anschlüsse beschrieben werden können. Entsprechend der Zahl x der Umsteigeströme kann man von x-fachen Anschlüssen sprechen. Deswegen können beliebige Anschlüsse auch in x einzelne richtungsorientierte Anschluss-Elemente zerlegt und so geprüft werden.

Für die Prüfung solcher wechselseitiger Anschlüsse gelten die folgenden Regeln:

- Die jeweils höhere Anschlusskategorie hat Vorrang vor den weniger wichtigen Anschlusskategorien.
- Bei gleicher Anschlusskategorie lässt sich die Entscheidung nach zwei Möglichkeiten fällen.
  (1) Die Lösung, bei der der Abbinger mit höherer Prioritätsstufe weniger zusätzliche Verspätung durch das Warten bekommt, hat Vorrang vor den anderen.

(2) Bei Abbringern mit gleichen Prioritätsstufen hat die Lösung mit der kleinsten Fahrzeug- oder personenbezogenen Gesamtwartezeit Vorrang vor den anderen.

Bei der Prüfung wechselseitiger Anschlüsse sind nachstehende folgende Punkte gegenüber der Prüfung eines richtungsorientierten Anschlusses zu beachten:

- Erfordert die beiden Verkehrsmittel für die Anschlussprüfung keine Freigabe an der LSA, sind beide Anschlusselemente unabhängig voneinander zu prüfen. Der Unterschied ist nur, dass jedes Verkehrsmittel in einem Anschlusselement der Zubringer ist und in dem anderen als Abbringer fungiert.

- Erfordern mindestens eines der Verkehrsmittel eine Freigabe, ist die Wechselwirkung der Freigaben zu beachten.

- Die Zeiten der Abfahrbereitschaft der Verkehrsmittel werden nach Formel (6-3) abhängig von der Ankunft der jeweils anderen Fahrt sowie dem Ankommen der umsteigenden Fahrgäste festgelegt, da die beiden Zufahrten in dem Fall auch Abbringer sind.

$$T_{ab,K,Ab} = T_{an,K,Zu} + t_{aus,K,Zu} + t_{ü,K,ZuAb}$$ Formel (6-3)

6 Prüfen der Verfahren und der Algorithmen

Im vorliegenden Kapitel werden die entwickelten Verfahren zum Ermitteln von Prioritätsstufen zur fahrtkonkreten Beeinflussung von Lichtsignalanlagen und zur Anschlusssicherung mit Hilfe einer Simulation geprüft. Die Ziele der Prüfung sind:

- die Sinnfälligkeit der Verfahren nachzuweisen
- die Einsatzfähigkeit der Algorithmen zu testen

Dafür werden die Algorithmen zum Ermitteln der Prioritätsstufen und zur Anschlusssicherung programmiert. In die Simulation fließen Parameter ein, deren Größenordnung die Gegebenheiten der Praxis widerspiegeln. Die Ergebnisse der Simulation werden hinsichtlich der Ziele ausgewertet und für verschiedene Fälle verglichen.

6.1 Eingangsgrößen und Parameter für die Schnittstellen

Für die Simulation der Verfahren werden unterschiedliche Eingangsgrößen und Parameter benötigt, die nicht im ÖV-Modell berechnet werden, sondern über Schnittstellen von anderen Modellen kommen. Das trifft insbesondere für folgende Kenngrößen oder Ergebnisse einzelner Prüfungen zu:

- Ankunftszeiten des Zu- und Abbringers
- Wechselwirkungen mit MIV und anderen ÖV hinsichtlich der Behinderungen
- Eingriffsmöglichkeiten durch eine LSA-Steuerung

6.1.1 Ankunftszeiten des Zu- und Abbringers

Die **Ankunftszeiten** des Zu- und Abbringers werden im Annäherungsmodell errechnet und über die Schnittstellen dem ÖV-Modell übermittelt. Sie lassen sich in der Simulation über eine Kombination von planmäßigen Ankunftszeiten und Fahrplanabweichungen nachbilden. Nach Zistel [52] verteilen sich Fahrplanabweichungen in ihrer Gesamtheit nicht nach einer

bestimmten Gesetzmäßigkeit. Während die verspäteten Teile, deren Fahrplanabweichung größer als Null ist, nach [52] sowie [47] exponentialverteilt sind, existiert für die verfrühten Ankünfte keine passende Verteilungsfunktion. Der Hauptgrund dafür wird in gezielter Vermeidung von Verfrühung vermutet, da Verfrühungen kundenunfreundlich und nicht erwünscht sind.

Die Exponentialverteilung lässt sich mathematisch über

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \mathrm{e}^{-\lambda x} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0. \end{cases}$$

Form (7-1)

darstellen. Der Parameter λ ist der Erwartungswert und lässt sich in diesem konkreten Fall mit

$$\lambda = \frac{1}{\bar{t}_{\text{Verspätung}}}$$

Form (7-2)

errechnen, $\bar{t}_{\text{Verspätung}}$ ist die mittlere Verspätung einer Stichprobe.

Exponentialverteilte Zufallszahlen können über die Inversionsmethode nach der Form (7-3) erzeugt werden. Schematisch stellt Abbildung 51 die Methode dar.

$$x = F^{-1}(y) = -\frac{\ln(y)}{\lambda}$$

Form (7-3)

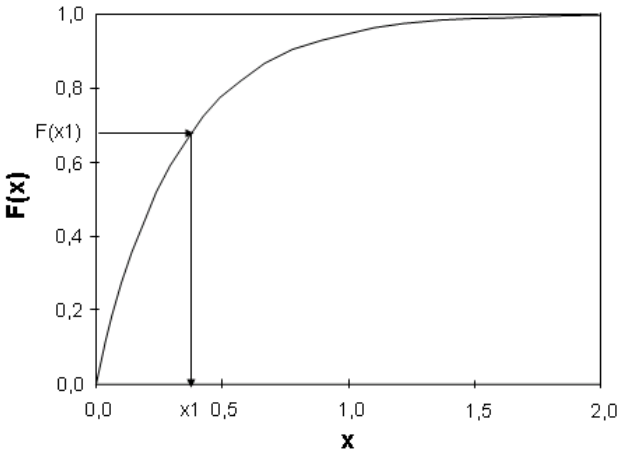


Abbildung 51: Erzeugung von Zufallszahlen einer Exponentialverteilung

Nach dieser Methode können Zufallswerte für Verspätungen erzeugt werden. Da vorgesehen ist, dieselben Fahrplanabweichungsdaten sowohl für das Verfahren der Anschlusssicherung als auch für das Ermitteln der Prioritätsstufen zu nutzen, wird die Erzeugung der Fahrplanabweichungen nicht in die einzelnen Programme der beiden Verfahren integriert, sondern in einem separaten Programm in Excel vorgenommen. Da in der Simulation auch Zufallswerte für Verfrühungen beachtet werden sollen, werden Teile der Zufallswerte der Verspätungen in Werte für Verfrühungen transformiert. Die Transformation erfolgt in einer vorgegeben Anzahl an Fällen im Fahrplanabweichungsprogramm automatisch. Für das Erzeugen der Verspätungsdaten wurden für den Erwartungswert λ folgende mittlere Verspätungen der verspäteten Züge angenommen.

- Zubringer: 48 Sekunden
- Abbringer: 30 Sekunden

Die Überlegung, dass der Zubringer größere mittlere Verspätungen als der Abbringer hat, geschah aufgrund der Festlegung der planmäßigen Ankunftszeiten des Zu- und Abbringers. Vorgesehen wurde, dass Zu- und Abbringer planmäßig zum selben Zeitpunkt an der Umsteigehaltestelle ankommen. Das führt dazu, dass größere Verspätungen des Zubringers mehr Maßnahmen zur Anschlusssicherung erfordern und damit mehr Prüfungen im Algorithmus zur Anschlusssicherung.

In Anhang 5.1 wird eine Folge von erzeugten Fahrplanabweichungsdaten dargestellt.

6.1.2 Wechselwirkungen mit Individualverkehr und anderen öffentlichen Verkehrsmitteln

Diese Prüfung betrifft insbesondere zwei Fragen:

- die Möglichkeit des baulich bedingt unabhängigen Wartens des Zu- und Abbringers
- die Belegung der Haltestelle und die Behinderung der Folgefahrt oder durch die vorhergehende Fahrt

Die Ergebnisse der Prüfungen kommen über Schnittstellen von den anderen Modellen. Sie werden überwiegend von den Verkehrssituationen oder den baulichen Randbedingungen der Haltestellen beeinflusst. Außerdem führt ein negatives Prüfungsergebnis zur Anschlussaufgabe oder zum Abbruch der weiteren Prüfungen – wie Warten des Zu- oder

Abbringers oder Auswirkungen von einer früheren Freigabe des Zubringers. Das reduziert mittelbar das Prüfen der weiteren Algorithmusteile. Deswegen werden in die Simulation keine konkreten Parameter – wie Kapazität und Belegung der Haltestelle sowie Ankunftszeit oder Abfahrtszeit der anderen ÖV-Fahrzeuge – eingefügt, sondern Entscheidungen – Behindert / Nicht behindert und Warten möglich / Warten nicht möglich – getroffen.

6.1.3 Eingriffsmöglichkeiten durch eine LSA-Steuerung

Von dieser Prüfung werden überwiegend zwei Fragen betroffen:

- die Erforderlichkeit einer LSA-Freigabe für ein Verkehrsmittel
- eine frühere Freigabe für den Zubringer

Die Änderungen der Freigabe in Folge einer früheren Freigabe für den Zubringer sind wichtige Parameter zur Prüfung der Anschlusssicherung. Sie werden in der Simulation nicht als Zufallszahl erzeugt sondern als Paarwerte eingegeben. Sie sind änderbar, bleiben aber nach dem Start der Simulation für den vorgesehenen Simulationszeitraum konstant. Gemeinsam mit unterschiedlichen Fahrplanabweichungen jedes Anschlusspaars werden unterschiedliche Wirkungen im Simulationsverlauf gestattet. In die Simulation werden zwei mögliche Änderungspaare der Freigaben eingegeben. Diese sollen die Realität widerspiegeln und bieten der Simulation ausreichende Möglichkeiten zum Testen der Prüfung einer früheren Freigabe des Zubringers.

6.2 Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen

40 Fahrtenpaare (Zu- und Abbringer) wurden mit den in Anhang 5.1 dargestellten Fahrplanabweichungsdaten getestet. Als Grenzwerte der absoluten Fahrplanabweichungen für die fünf Pünktlichkeitsbereiche wurden die nach [11] für den Dresdner Verkehrsbetrieb sinnvollen Werte benutzt. Diese werden gemeinsam mit den Grenzwerten der relativen Fahrplanabweichungen in Tabelle 21 aufgelistet. Die Simulation wurde mit verschiedenen zeitlichen Reserven im Umlauf und bei der Anschlussgewährung der Kategorien 1 und 2 zweimal durchgeführt.

Parameter	Einheit	Wert	Erläuterungen
$t_{gf,min}$	s	-60	-
$t_{p,min}$	s	0	-
$t_{p,max}$	s	60	-
$t_{gs,max}$	s	180	-
$a_{p,max}$	-	0,25	-
$a_{gf,,max}$	-	0,50	-
$t_{Reserve,Wen}$	s	120	1. Simulationslauf
t_{Syn}	s	nicht vorhanden	
$t_{Reserve,Ans,K1}$	s	nicht vorhanden	
$t_{Reserve,Ans,K2}$	s	nicht vorhanden	
$t_{Reserve,Wen}$	s	600	2. Simulationslauf
t_{Syn}	s	nicht vorhanden	
$t_{Reserve,Ans,K1}$	s	240	
$t_{Reserve,Ans,K2}$	s	nicht vorhanden	

Tabelle 21: Parameter zum Prüfen des Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen

Die Ergebnisse der zwei Simulationsläufe werden in Anhang 5.2 dargestellt. Abbildung 52 und 53 zeigen die Ergebnisse für den Zu- und Abbringer.

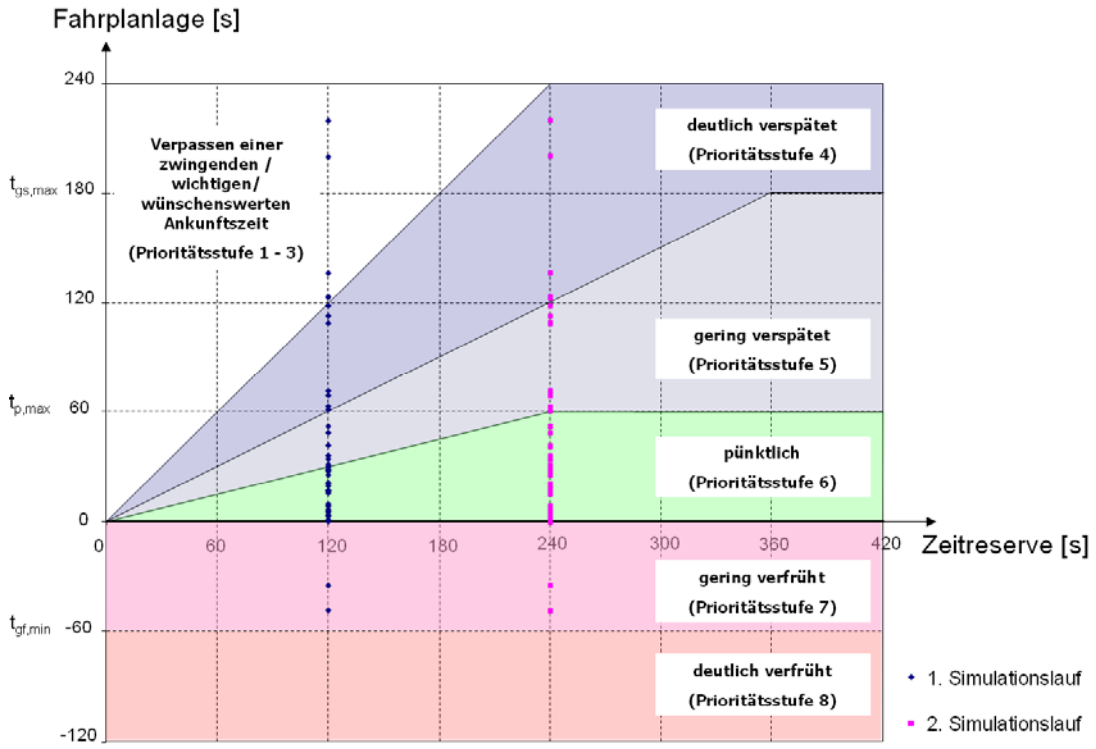


Abbildung 52: Ergebnisse des Testens zum Ermitteln der Prioritätsstufen des Zubringers

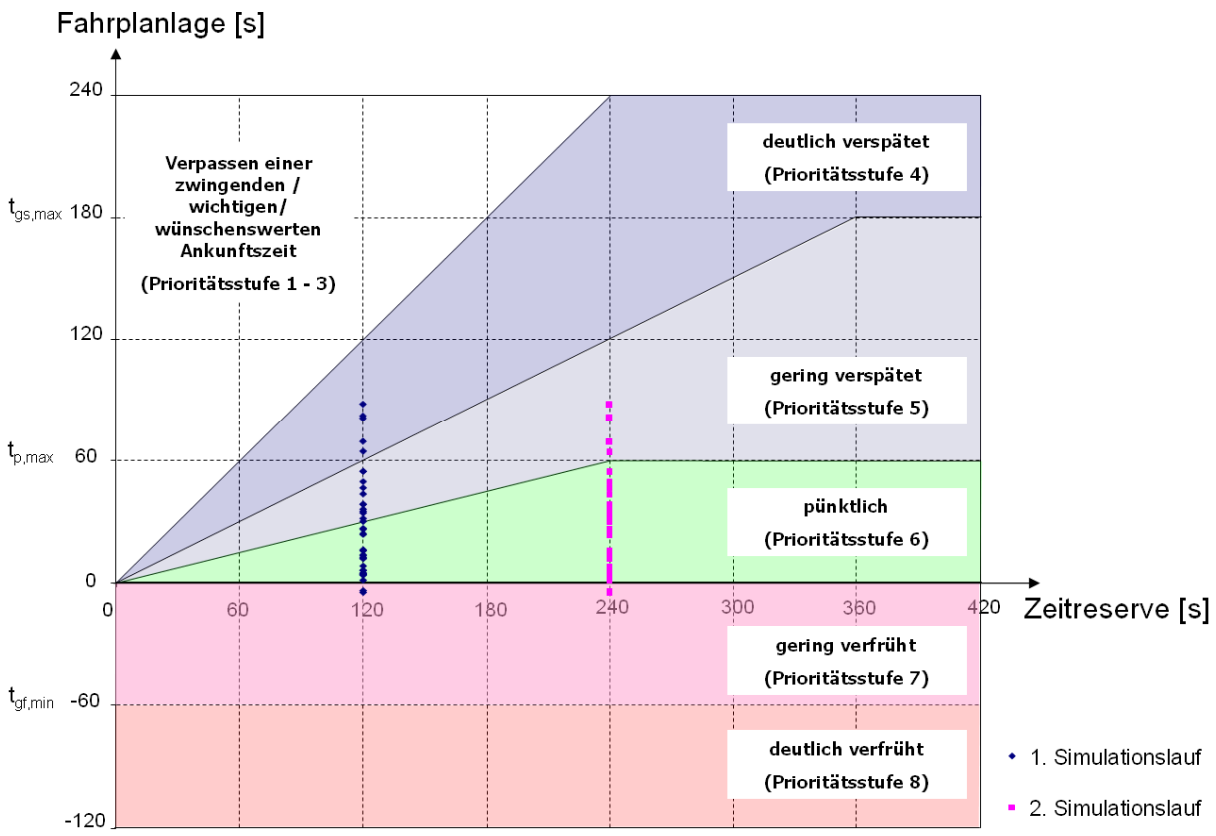


Abbildung 53: Ergebnisse des Testens zum Ermitteln der Prioritätsstufen des Abbringers

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Die nach den absoluten und relativen Fahrplanabweichungen ermittelten Pünktlichkeiten und die Prioritätsstufen spiegeln besser die fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen des Verkehrsmittels wider als die nur nach den absoluten Fahrplanabweichungen Ermittelten.

- Änderungen der Zeitreserven im Umlauf und bei der Anschlussgewährung führen zu Änderungen der Prioritätsstufen des Verkehrsmittels. Fahrten bekommen bei niedrigerer Zeitreserve trotz gleicher absoluter Fahrplanabweichungen höhere Prioritätsstufen.

- Verfrühte Zufahrten bekommen nach dem Verfahren niedrige Prioritätsstufen. Sie ändern sich bei Änderungen der Zeitreserve auch nicht.

6.3 Algorithmus zur Anschlusssicherung

Für den Test des Algorithmus zur Anschlusssicherung wurden dieselben Daten zur Fahrplanabweichung wie für den Test des Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen angewandt.

Sowohl der Zu- als auch der Abbringer fahren in einem 15-Minuten-Takt. Das erste Fahrtenpaar soll sich in der Simulation planmäßig um 9.00 Uhr an der Umsteigehaltestelle treffen und das Letzte nach zehn Stunden um 18.45 Uhr. Die für die Simulation eingesetzten Parameter werden in Tabelle 22 dargestellt. Zwei Freigabeänderungspaare des Zu- und Abbringers werden festgelegt. Das bedeutet, dass maximal zwei Änderungen der Freigabe in einem Prüfungsvorgang durchgeführt werden können. Wenn der Abbringer danach noch auf den Zubringer warten muss, wird die Wartezeit anhand der anderen Parameter geprüft. Alle Parameter sind für alle 40 geprüften Fahrtpaare gültig.

Parameter	Einheit	Wert	Erläuterungen
$t_{aus,K,Zu}$	s	10	-
$t_{ü,K,ZuAb}$	s	15	-
$t_{Fw,K,Ab}$	s	20	-
t_{Sicht}	s	5	-
C_w	-	0,1	-
$C_{Verspätung}$	-	0,2	-
$t_{Än,Zu}$	s	-20	erste Paarbildung der Änderung der Freigabe
$t_{Än,Ab}$	s	0	
$t_{Än,Zu}$	s	20	zweite Paarbildung der Änderung der Freigabe
$t_{Än,Ab}$	s	30	
$t_{Reserve,Wen}$	s	120	1. Simulationslauf
t_{Syn}	s	nicht vorhanden	
$t_{Reserve,Ans,K1}$	s	nicht vorhanden	
$t_{Reserve,Ans,K2}$	s	nicht vorhanden	
$t_{Reserve,Wen}$	s	600	2. Simulationslauf
t_{Syn}	s	nicht vorhanden	
$t_{Reserve,Ans,K1}$	s	240	
$t_{Reserve,Ans,K2}$	s	nicht vorhanden	

Tabelle 22: Parameter zum Prüfen des Algorithmus zur Anschlusssicherung

Die Simulation wurde zweimal durchgeführt. Zwar sind die Endergebnisse der zwei Simulationsläufe gleich, trotzdem sind einige Unterschiede der Zwischenergebnisse aufgrund verschiedener Zeitreserven in der Wendezeit und bei der Anschlussgewährung zu erkennen. Sie werden in der Vorstellung der Ergebnisse der Simulation erklärt.

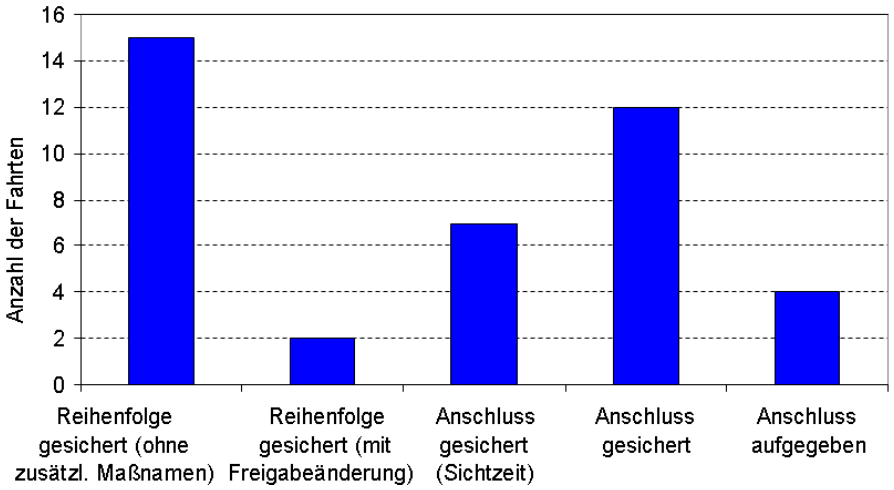


Abbildung 54: Verteilung der Simulationsergebnisse

Abbildung 54 zeigt die Verteilung der Simulationsergebnisse nach der Entscheidung zur Anschlusssicherung. 36 der 40 Fahrttreffen der vorgesehenen Anschlüsse kommen tatsächlich zustande. In 17 Fällen werden die Anschlüsse ohne zusätzliches Warten des Abbringers erreicht. Davon kommen 15 Anschlüsse ohne Eingreifen zusätzlicher Maßnahmen zustande, die Reihenfolge ist lediglich passiv sicherzustellen. In zwei Fällen wird die Reihenfolge aktiv durch eine Änderung der Freigabe gesichert. Siebenmal muss der Abbringer weniger oder gleich fünf Sekunden warten, was der Sichtzeit entspricht. In den übrigen zwölf Fällen muss der Abbringer trotz Wirkungen von Änderungen der Freigabe warten, jedoch unter den Grenzwerten der Randbedingungen. Vier Anschlüsse müssen aufgrund einer Grenzwert überschreitenden Wartezeit des Abbringers aufgegeben werden.

Die Abbildungen 55 und 56 stellen schematisch die einzelnen Anschlüsse dar und erklären damit auch den Grund des Sicherns oder Aufgebens. Abbildung 55 zeigt die Änderung der Fahrplanabweichung der einzelnen Fahrten aufgrund der Anschlusssicherung. Im Simulationslauf 1 liegen bei 38 Fahrten die Fahrplanabweichungen nach der Anschlusssicherung unter den Grenzwerten. Die Fahrten 3 und 38 werden von der Anschlusssicherung ausgeschlossen, da die Grenzwerte danach nicht mehr eingehalten werden können. Im Simulationslauf 2 liegt die Verspätung des Abbringers der Fahrt 3 nach der Anschlusssicherung noch unter den Grenzwerten aufgrund der höheren minimalen Reserve in der Wendezeit und zur Anschlusssicherung.

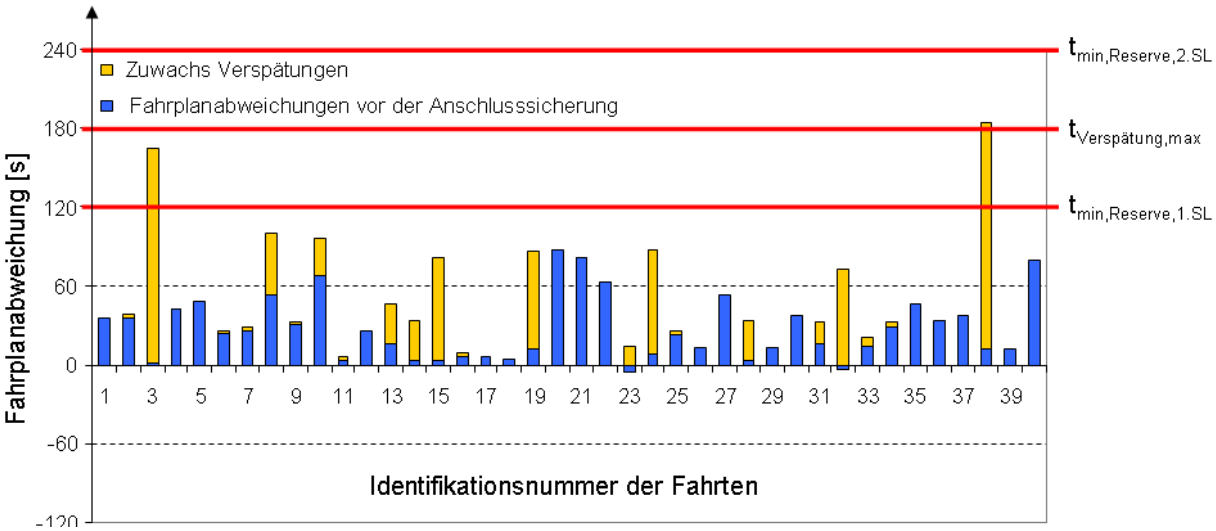


Abbildung 55: Fahrplanabweichungen des Abbringers vor und nach der Anschlusssicherung

In Abbildung 56 werden die Wartezeiten des Abbringers vor und nach der Prüfung einer früheren Freigabe des Zubringers sowie die maximal zulässigen Wartezeiten der einzelnen Fahrten dargestellt. Außer bei den Fahrten 3, 8, 10 und 38 werden die maximalen Wartezeiten eingehalten, deswegen werden die vier Fahrten von der Anschlusssicherung ausgeschlossen. Aufgrund des Verwendens des gleichen Aufwandswertes C_w, was zu gleichen Grenzwerten für die maximal zulässige Wartezeit der einzelnen Fahrten führt, sind in den zwei Simulationsläufen dieselben vier Anschlüsse ausgeschieden. Das zeigt auch, obwohl die Fahrten 8 und 10 in den beiden Simulationsläufen sowie die Fahrt 3 im Simulationslauf 2 allein aus Sicht der Verspätung noch gesichert werden könnten, müssen sie aufgrund der überschrittenen Wartezeit aufgegeben werden. Die gesamten Ergebnisse zu allen 40 Fahrtenpaaren werden in Anhang 5.3 dargestellt.

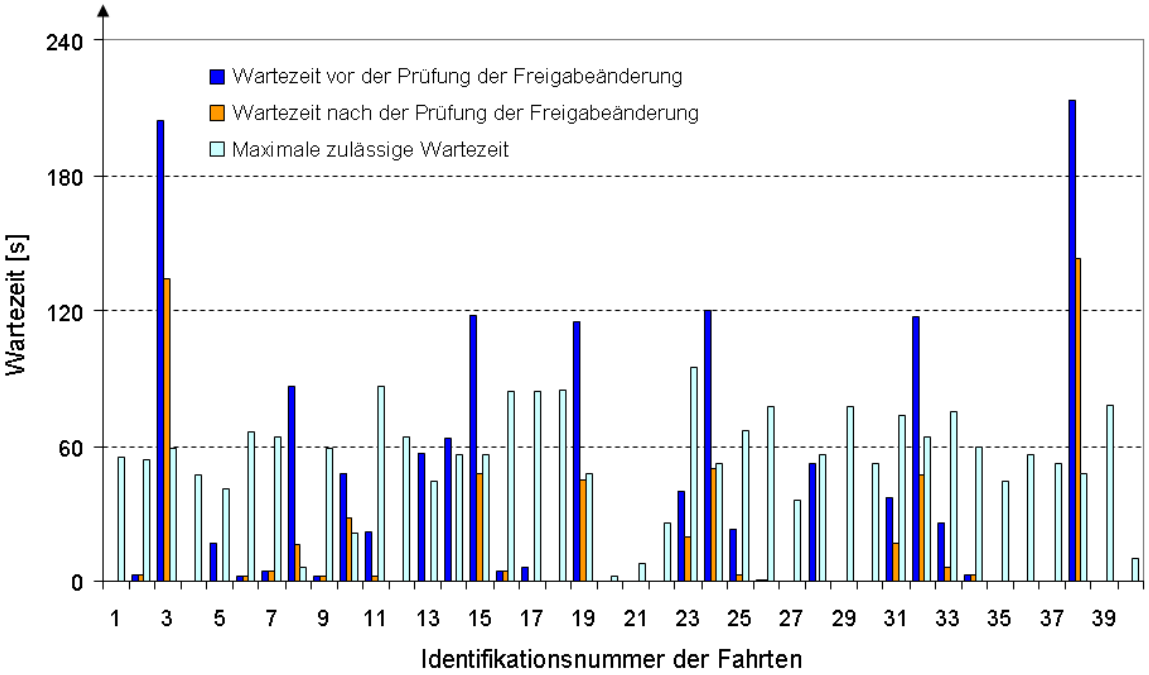


Abbildung 56: Wartezeiten des Abbringers vor und nach der Prüfung einer früheren Freigabe des Zubringers

Abbildung 57 zeigt die Fahrplanabweichungen des Abbringers der 21 über Maßnahmen gesicherten Anschlüsse vor und nach der Anschlusssicherung. Vor der Anschlussprüfung hat der Abbringer bei der Ankunft durchschnittlich eine Fahrplanabweichung von 15,2 Sekunden. Nach der Anschlusssicherung hat die mittlere Fahrplanabweichung um 22,2 Sekunden zugenommen und liegt bei 37,4 Sekunden.

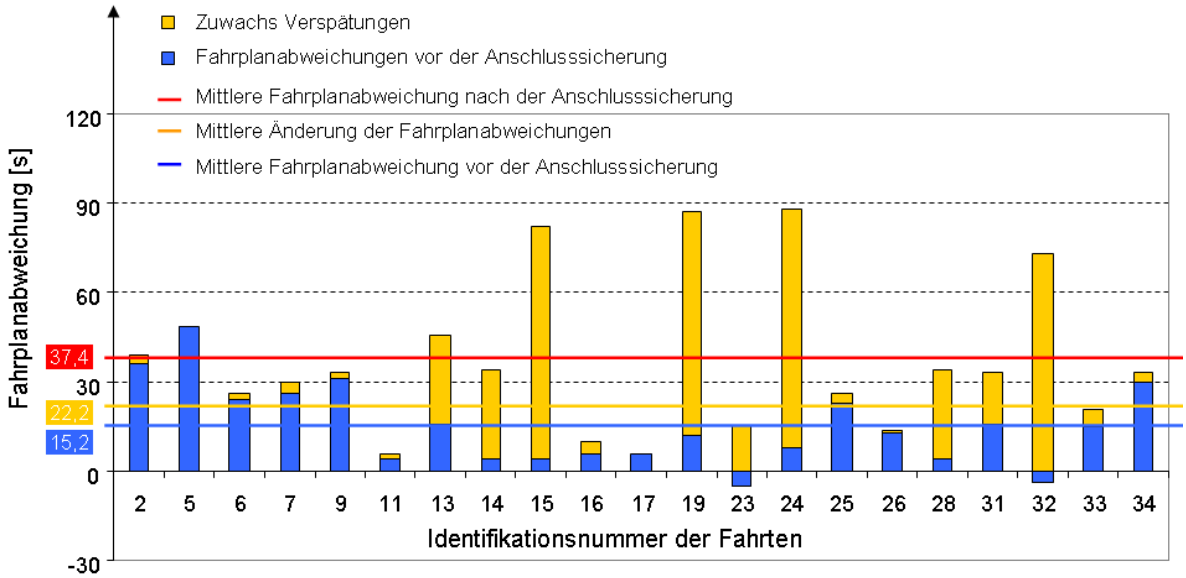


Abbildung 57: Fahrplanabweichungen des Abbringers der über Maßnahmen gesicherten Anschlüsse vor und nach der Anschlusssicherung

In Abbildung 58 werden die Wartezeiten des Abbringers der 21 über Maßnahmen gesicherten Anschlüsse vor und nach der Prüfung der Freigabeänderungen dargestellt. Ohne Prüfung einer früheren Freigabe für den Zubringer hätte der Abbringer durchschnittlich um 39,6 Sekunden warten müssen. Mit Wirkungen der Änderung der Freigabe an der LSA kann die Wartezeit um 69% auf 12,2 Sekunden reduziert werden.

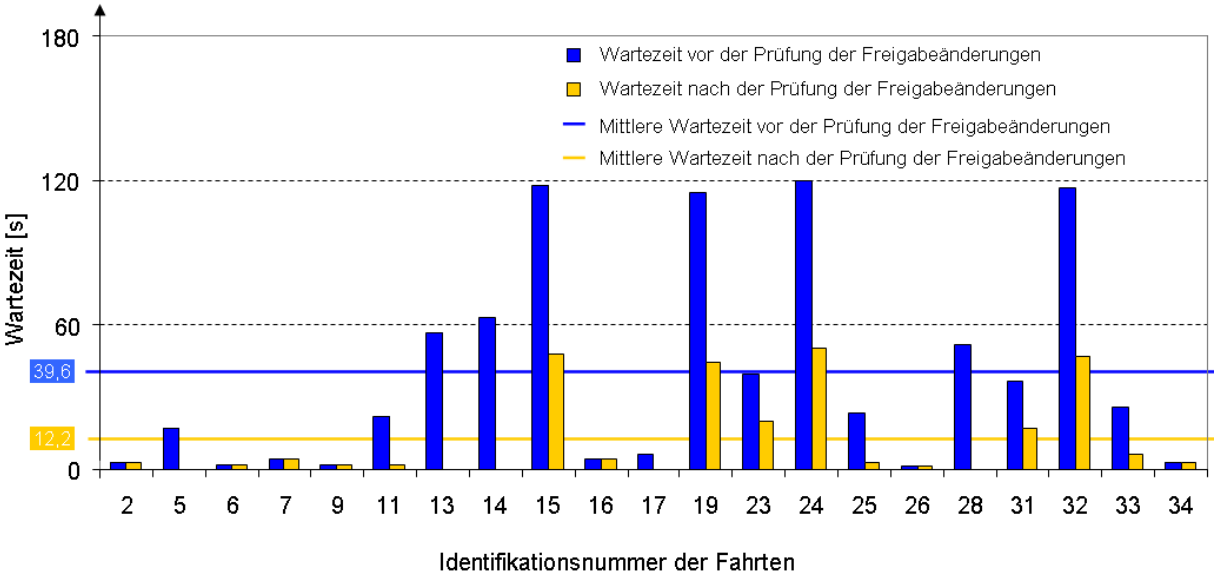


Abbildung 58: Wartezeiten des Abbringers der über Maßnahmen gesicherten Anschlüsse vor und nach der Handlungsoption einer früheren Freigabe für den Zubringer

In Anhang 5.4 werden die in Abbildung 57 und 58 dargestellten Werte der Fahrplanabweichungen und Wartezeiten der 26 gesicherten Anschlüsse aufgelistet.

6.4 Bewertung des Verfahrens

Die Ergebnisse des Tests der Algorithmen zeigen sowohl die Sinnfälligkeit des Verfahrens als auch die Einsatzfähigkeit der Algorithmen. Die wichtigen Punkte sind:

- Die Pünktlichkeiten und die Prioritätsstufen, die mithilfe des Verfahrens zur fahrtkonkreten LSA-Beeinflussung nach den absoluten und relativen Fahrplanabweichungen ermittelt werden, spiegeln die fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen des Verkehrsmittels sowie seinen fahrtkonkreten Bedarf bei der LSA-Beeinflussung wider.

- Unterschiedlich hohe Werte der absoluten Fahrplanabweichung, der Zeitreserven im Umlauf und bei der Anschlussgewährung führen zu Änderungen der Prioritätsstufen des Verkehrsmittels.
- Bei sinkender oder niedrigerer Zeitreserve bekommen die Fahrten mit gleicher Fahrplanabweichung höhere Prioritätsstufen und damit eine höhere Priorität bei der LSA-Beeinflussung.
- Verfrühten Fahrten werden niedrige Prioritätsstufen zugeordnet. Das bedeutet einerseits für diese Fahrten eine geringere Priorität bei der LSA-Beeinflussung und anderseits mehr Beachtung der Belange der anderen Verkehrsteilnehmer.
- Das Verfahren zur fahrtkonkreten Anschlusssicherung bietet eine neue Möglichkeit, unter Betrachtung der fahrtkonkreten Randbedingungen die Anschlüsse zu prüfen, zu sichern oder eventuell auch aufzugeben.
- Die früheren Freigaben des Zubringers tragen wesentlich zur Anschlusssicherung bei. Das Betrachten der fahrtkonkreten Randbedingungen gewährt darüber hinaus die Stabilität des Betriebs, was den Wünschen der Kunden und der Verkehrsunternehmen entgegenkommt.
- Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass die Algorithmen einerseits das Ziel der Verfahren erfüllen können und andererseits auch für den Einsatz in der Praxis fähig geeignet sind.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden Verfahren entwickelt und getestet, um Prioritätsstufen für öffentliche Verkehrsmittel zur fahrtkonkreten Beeinflussung von Lichtsignalanlagen zu ermitteln und darüber hinaus Anschlüsse im öffentlichen Personennahverkehr zu sichern. Die Testergebnisse zeigen, dass die Ziele, eine höhere Pünktlichkeit und eine höhere Anschlusssicherheit, sehr gut erreicht werden.

Am Anfang der Arbeit wurde in wesentliche theoretische Grundlagen eingeführt und das Problem vorgestellt. Den Schwerpunkt der theoretischen Grundlagen bilden Fachbegriffe und wichtige verkehrliche und betriebliche Randbedingungen des ÖPNV. Diese vertreten sowohl die Sicht der Kunden als auch des Unternehmens, insbesondere des Fahrpersonals.

Danach folgt eine Recherche vorhandener Ansätze in der Forschung und in der Verkehrspraxis. Besonders für die Recherche aktueller Anwendungen in der Praxis wurde eine Befragung bei Verkehrsunternehmen in mehreren deutschen Großstädten durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass in der Praxis ein großer Bedarf an den durchgeführten Untersuchungen besteht.

Im Anschluss wurde mit dem Erarbeiten der Lösungsansätze für das ÖV-Modell begonnen. Zunächst erfolgte das Einordnen der Aufgabe in den in [33] entwickelten Ansatz der kooperativen Lichtsignalanlagen und das Abgrenzen des ÖV-Modells von den übrigen Modellen.

Den Anfang der Lösungserarbeitung bilden die im Rahmen dieser Arbeit weiter entwickelten theoretischen Grundlagen. Diese enthalten die folgenden wesentlichen Punkte:

- Weiterentwicklung der Zuordnung der Anschlüsse zu Anschlusskategorien
- Kombination von absoluter und relativer Fahrplanabweichung zum Ermitteln der Pünktlichkeit
- Vorauswahl relevanter Anschlüsse
- Definition geeigneter Prioritätsstufen eines öffentlichen Verkehrsmittels

Es folgt der Kern der Lösungsfindung, die allgemein gültigen Algorithmen zum Ermitteln von Prioritätsstufen zur fahrtkonkreten Beeinflussung von Lichtsignalanlagen und zur Anschlusssicherung. Um die unterschiedliche technische Ausstattung der Unternehmen zu

berücksichtigen, wurden verschieden aufwändige Verfahren zum Ermitteln der Prioritätsstufen erarbeitet und vorgestellt. Im allgemein gültigen Algorithmus zur Anschlusssicherung wird nicht nur ein notwendiges Warten des Abbringers unter Beachten der fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen geprüft, sondern insbesondere auch das Nutzen signaltechnischer Maßnahmen zur Anschlusssicherung. Durch diese Kombination ist es möglich, sowohl die Möglichkeiten der modernen Signaltechnik in die Anschlusssicherung einzubeziehen, als auch zusätzlich - trotz der Anschlusssicherung - die Stabilität des Betriebs zu verbessern.

Am Ende wurden die entwickelten Verfahren und Algorithmen durch Simulationen getestet. Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Die Prioritätsstufen, die auf Basis der absoluten und relativen Fahrplanabweichungen ermittelt werden, spiegeln die fahrtkonkreten verkehrlichen und betrieblichen Randbedingungen des jeweiligen Verkehrsmittels wie auch seinen aktuellen Bedarf bei der LSA-Beeinflussung richtig wider.

- Das Verfahren zur fahrtkonkreten Anschlusssicherung gestattet sehr gut, die Anschlüsse unter Beachten der fahrtkonkreten Randbedingungen zu prüfen, zu sichern oder eventuell auch aufzugeben.

- Das Einbeziehen signaltechnischer Maßnahmen verbessert die Anschlusssicherung erheblich. Das Einbeziehen der fahrtkonkreten Randbedingungen gewährt darüber hinaus die Stabilität des Betriebs. Beides entspricht den Wünschen der Kunden.

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass die Algorithmen das Ziel der Verfahren erfüllen können und für den Einsatz in der Verkehrspraxis reif sein sollten. Mit der Simulation konnte sowohl die Sinnfälligkeit des Ansatzes als auch die Einsatzfähigkeit der Algorithmen nachgewiesen werden. Sie gestatten also, dem Ziel

Höhere Pünktlichkeit → bessere Anschlusssicherheit → größere Verlässlichkeit

näher zu kommen.

Wesentlich für den Praxiseinsatz wird sein, welches Maß an Pünktlichkeit auf der einen Seite und an Anschlusssicherheit auf der anderen Seite vom Kunden gewünscht wird. Die fahrtkonkrete LSA-Beeinflussung vermag sowohl den Betrag als auch die Streuung der Behinderungszeit an signalgesteuerten Knotenpunkten zu senken und damit die Pünktlichkeit des Betriebs zu erhöhen. Mit der fahrtkonkreten Anschlusssicherung kann die Anschlusssicherheit wesentlich verbessert werden. Trotz Beachten der verkehrlichen und

betrieblichen Randbedingungen geschieht das allerdings auch zu Lasten der Pünktlichkeit. Interessant ist deshalb, in welchem Verhältnis beide Verfahren anzuwenden sind. Das aber sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Grundsätzlich erscheinen zwei Wege sinnvoll, die Wahl der Parameter an der jeweiligen Lichtsignalanlage oder die Auswahl der Lichtsignalanlagen aus den im Linienverlauf vorhandenen.

Durch bedarfsgerechte und punktgenaue Bereitstellung der Freigabezeiten für die öffentlichen Verkehrsmittel ist zu erwarten, dass insgesamt weniger und kürzere Freigaben für den öffentlichen Verkehr benötigt werden. Damit wird nicht nur für Kunden des öffentlichen Verkehrs eine spürbar höhere Verlässlichkeit des Systems erzielt, sondern eine höhere Qualität des Verkehrsablaufs für alle Verkehrsteilnehmer. Das eröffnet darüber hinaus eine neue Möglichkeit Energie zu sparen, indem die Platzreserven für Schwankungen der Zugfolgezeit reduziert werden können, wie in [11] ausgeführt werden.

Abkürzungsverzeichnis

ArbZG	Arbeitszeitgesetz
ANDI/L	Anschlussdisposition
ASDIS/L	Asynchrone Disposition
DB	Deutsche Bahn
DIN	Deutsche Industrie-Norm
Diskon	Dispositions- und Konfliktmanagement
DVB	Dresdner Verkehrsbetrieb
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
E-Ticket	elektronisches Ticket
Erm.	Ermitteln
FGSV	Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen
FPersV	Fahrpersonalgesetz
km	Kilometer
Korr.	Korrigieren
LSA	Lichtsignalanlagen
min	Minute
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
RBL	rechnergestütztes Betriebsleitsystem
RiLSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen
RMV	Rhein-Main-Verkehrsverbund
RWTH Aachen	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
S-Bahn	Schnellbahn
U-Bahn	unterirdische Bahn
TU Dresden	Technische Universität Dresden
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen

VO	Verordnung
VVO	Verkehrsverbund Oberelbe

Symbolverzeichnis

a	Steigerung der relativen Pünktlichkeit
$a_{p,max}$	obere Steigung des pünktlichen Bereiches
$a_{gs,max}$	obere Steigung des gering verspäteten Bereiches
b_i	Stärke des Fahrgaststroms i
c_K	Wichtungsfaktor wegen der Anschlusskategorie
$c_{Verspätung}$	Aufwandswert der maximal zulässigen Verspätung
c_W	Aufwandswert der maximal zulässigen Wartezeit
i	das Fahrzeug i des öffentlichen Verkehrsmittels
j	Änderungsebene einer früheren Freigabe des Zubringers
K	Haltestelle K
$n_{K,Ab}$	Belegung der Haltestelle K während des Wartens des Abbringers
$n_{K,Ab,max}$	Kapazität der Haltestelle K des Abbringers
$n_{K,Zu,LetztZug}$	Belegung der Haltestelle K bei Einfahrt des Zubringers
$n_{K,Zu,max}$	Kapazität der Haltestelle K des Zubringers
$t_{Än,Ab}$	Änderung der Freigabe des Abbringers
$t_{Än,Zu}$	Änderung der Freigabe des Zubringers
$t_{aus,Zu}$	Aussteigezeit der Fahrgäste des Zubringers
$t_{aus,K,Zu}$	Aussteigezeit der Fahrgäste des Zubringers an der Haltestelle K
$t_{Fp,Ist}$	Ist-Fahrplan eines öffentlichen Verkehrsmittels
t_{Fpl}	Fahrplanlage eines öffentlichen Verkehrsmittels
$t_{Fpl,ab,K,Ab}$	Fahrplanlage des Abbringers bei Abfahrbereitschaft an der Haltestelle K
$t_{Fpl,ab,K,Zu}$	Fahrplanlage des Zubringers bei Abfahrbereitschaft an der Haltestelle K
$t_{Fpl,an}$	Fahrplanlage bei Ankunft
$t_{Fpl,an,K,Ab}$	Fahrplanlage des Abbringers bei Ankunft an der Haltestelle K
$t_{Fpl,an,K,Zu}$	Fahrplanlage des Zubringers bei Ankunft an der Haltestelle K
$t_{Fp,soll}$	Soll-Fahrplan eines öffentlichen Verkehrsmittels

$t_{f,u}$	Beförderungszeit im Umlauf
$t_{Fw,K,Ab}$	Fahrgastwechselzeit des Abbringers an der Haltestelle K
$t_{gf,min}$	untere Grenze des gering verfrühten Bereiches
$t_{gs,max}$	obere Grenze des gering verspäteten Bereiches
$t_{p,min}$	untere Grenze des pünktlichen Bereiches
$t_{p,max}$	obere Grenze des pünktlichen Bereiches
$t_{Reserve}$	Zeitreserve im Umlauf oder bei der Gewährung des Anschlusses
$t_{Reserve,Ans}$	Zeitreserve bei der Gewährung eines Anschlusses
$t_{Reserve,Ans,K1}$	Zeitreserve bei der Anschlussgewährung der Kategorie 1
$t_{Reserve,Ans,K2}$	Zeitreserve bei der Anschlussgewährung der Kategorie 2
$t_{Reserve,Ans,K1,Ab}$	Zeitreserve bei der Anschlussgewährung der Kategorie 1 des Abbringers
$t_{Reserve,Ans,K2,Ab}$	Zeitreserve in der Anschlussgewährung der Kategorie 2 des Abbringers
$t_{Reserve,Wen,i}$	Zeitreserve in der Wendezeit an einer Endstelle der Fahrt i
$t_{Reserve,Wen,Ab}$	Zeitreserve in der Wendezeit des Abbringers
t_{Syn}	Synchronisationszeit
$t_{Syn,K,Ab}$	Synchronisationszeit des Abbringers an der Haltestelle K
$t_{Syn\ ,Ab}$	Synchronisationszeit des Abbringers in weiterem Fahrtverlauf
t_{Sicht}	Sichtzeit
t_T	Taktzeit
$t_{T,Ab}$	Taktzeit des Abbringers
$t_{ü,ZuAb}$	Zeit für das Zurücklegen des Übergangswegs
$t_{ü,K,ZuAb}$	Zeit für das Zurücklegen des Übergangswegs an der Haltestelle K
$t_{Verspätung,max}$	maximal zulässige Verspätung aufgrund einer Anschlussgewährung
$t_{Verspätung,K,Ab,max}$	maximal zulässige Verspätung des Abbringers an der Haltestelle K
$t_{w,K,Ab}$	Wartezeit des Abbringers an der Haltestelle K
$t_{w,,max}$	maximal zulässige Wartezeit
$t_{w,d,max}$	maximale Wartezeit eines direkten Anschlusses
$t_{w,K,Ab,max}$	maximal zulässige Wartezeit des Abbringers an der Haltestelle K
$t_{w,n,max}$	maximale Wartezeit eines normalen Anschlusses

t_{Wen}	Wendezeit im Umlauf
$t_{Wen,i}$	Wendezeit an einer Endstelle der Fahrt i
$t_{Wen,Human}$	Wendezeitanteil für humane Aufgaben
$t_{Wen,Human,i}$	Wendezeitanteil für humane Aufgaben an einer Endstelle der Fahrt i
$t_{Wen,Qualitativ}$	Wendezeitanteil für qualitative Aufgaben
$t_{Wen,Techno}$	Wendezeitanteil für technologische Aufgaben
$t_{Wen,Techno,i}$	Wendezeitanteil für technologische Aufgaben an einer Endstelle der Fahrt i
$t_{Wen,u,min}$	mindeste Wendezeit im Umlauf
$t_{Zugfolge,plan}$	planmäßige Zugfolgezeit
$t_{Zugfolge,plan,Ab}$	planmäßige Zugfolgezeit des Abbringers
$T_{ab,K,Ab}$	Abfahrtszeit des Abbringers an der Haltestelle K
$T_{ab,K,Zu}$	Abfahrtszeit des Zubringers an der Haltestelle K
$T_{ab,K,Ab,plan}$	planmäßige Abfahrtszeit des Abbringers an der Haltestelle K
$T_{ab,K,Zu,plan}$	planmäßige Abfahrtszeit des Zubringers an der Haltestelle K
$T_{ab,K,Zu,LetztZug}$	Abfahrtszeit des letzten Zuges an der Haltestelle des Zubringers
$T_{an,Ab}$	Ankunftszeit des Abbringers
$T_{an,K,Ab}$	Ankunftszeit des Abbringers an der Haltestelle K
$T_{an,K,Ab,Folgezug}$	Ankunftszeit des Folgezuges an der Haltestelle K des Abbringers
$T_{an,K,Ab,plan}$	planmäßige Ankunftszeit des Abbringers an der Haltestelle K
$T_{an,Zu}$	Ankunftszeit des Zubringers
$T_{an,K,Zu}$	Ankunftszeit des Zubringers an der Haltestelle K
$\Delta t_{w,p,i}$	personenbezogene Wartezeiten
$\Delta t_{w,i}$	Wartezeit des Fahrgaststroms i
$\Delta t_{w,gesamt}$	personenbezogene Gesamtwartezeiten

Literaturverzeichnis

[1] Arbeitszeitgesetz vom 6. Juni 1994, Stand vom 15.07.2009, www.juris.de

[2] Bittner, S.; Gille, A.; Klemenz, M.: Fahrgastorientierte Anschlussplanung im ÖPNV. Der Eisenbahningenieur 06/2011.

[3] Friedrich, B.; Fischer, N.: Nahverkehrsbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs. Herausgeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch Gladbach, 2002. Verkehrstechnik Heft V92.

[4] Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung. Herausgeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch Gladbach, 2006. Verkehrstechnik Heft 149.

[5] Bär, M.: Vorlesungsskript zur Vorlesung „Systemtechnik des Bahn- und ÖPN-Verkehrs / Betriebstechnik des ÖPV“. Technische Universität Dresden, Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, Wintersemester 2006/07.

[6] Bauer, J.: Erarbeiten von Maßnahmen zum Beschleunigen und Stabilisieren der hoch belasteten tangentialen Dresdner Kraftomnibuslinie 61. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, 2006.

[7] Bosserhoff, D.: Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung, Kapitel 6.1, Bevorrechtigung des ÖPNV an Lichtsignalanlagen. veröffentlicht 2006/ 2007. Download: www.dietmar-bosserhoff.de/download/Handbuch_6-1_Bosserhoff.pdf

[8] Brenner, M.: Steuerung des Individualverkehrs und des öffentlichen Personenverkehrs unter Berücksichtigung der Gesamtverkehrszeiten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik , Heft 281, Bonn, 1980.

[9] DIN Entwurf EN 13816, Dienstleistungen im Transportwesen – Öffentlicher Personenverkehr. Ausgabe 2002. Beuth Verlage, Berlin, 2002.

[10] Dutsch, S./ Jin, S.: Verbesserung der Verkehrssteuerung auf der Nord-Süd-Verbindung in Dresden. Vortrag, Technische Universität Dresden, Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, 12. Dezember 2008.

[11] Dutsch, S./ Jin, S.: Erhöhen der Verlässlichkeit des ÖPNV durch fahrtkonkrete LSA-Beeinflussung und Anschlusssicherung. 23. Verkehrswissenschaftliche Tage, Dresden, 29. - 30. März 2012.

[12] Dutsch, S.; Hoppe, A.; Jin, S.: Aufgabenstellung RBL-LZA-Management. Arbeitspapier Forschungsprojekt, unveröffentlicht, Technische Universität Dresden und die Dresdner Verkehrsbetriebe AG, September 2011.

[13] Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1982.

[14] Hinweise zur Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs bei der Lichtsignalsteuerung. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1993.

[15] Verkehrsabhängige Steuerung am Knotenpunkt. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1994.

[16] Merkblatt für Maßnahmen zur Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßenbahnen und Bussen. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1999.

[17] Begriffsbestimmung, Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2000.

[18] Verlässliche Bedienung im öffentlichen Personenverkehr - Empfehlungen zur Vermeidung von Verspätungen, Anschlussverlusten und deren Auswirkungen, FGSV Arbeitspapier Nr. 64. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2004.

[19] Hinweise für die Qualitätssicherung im ÖPNV. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2006.

[20] HBS – Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2009.

[21] Verordnung zur Durchführung des Fahrpersonalgesetzes vom 27. Juni 2005, Stand vom 22.01.2008. www.juris.de.

[22] Gassel, C.; Krimmling, J.: Additional benefit of ITCS data used in road traffic control systems. In: 12th WCTR – World Congress on Transportation Research, Lisbon, 11. – 15. Juli 2010.

[23] Gassel, C.; Krimmling, J.: Energiesparendes Fahren durch Fahrerassistenz im Straßenbahnbetrieb. In: 46. Regelungstechnisches Kolloquium, Boppard, 29 Feb. - 2. März 2012.

[24] Günther, R.: Untersuchung planerischer und betrieblicher Maßnahmen zur Verbesserung der Anschlusssicherung in städtischen Busnetzen. Dissertation, Technische Universität Berlin, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Verkehrswegebau, 1985.

[25] Heinz, G.: Dynamische Fahrgastinformation an Busbahnhöfen / Anschlusssicherung zwischen Bus und Bahn. 9. Fachkolloquium Straße und Verkehr, Universität Stuttgart, Stuttgart Weilimdorf, 10. - 11. November 2005.

[26] Hoffmann, J.: Busbeschleunigung aus Sicht des Planungsingenieurs - Systematische Umsetzung von Maßnahmepaketen im Zuge eines umfangreichen Beschleunigungsprogramms. Der Nahverkehr, Verband deutscher Verkehrsunternehmen, Alba Fachverlag, Düsseldorf, Ausgabe 09/2003, Seite 43.

[27] Hoppe, A.: Die ÖPNV-Beschleunigung. Dresdener Verkehrsdialog, „Verkehrsbeschleunigung in Dresden – für wen?“, Dresden, 03. Februar 2009.

[28] Jin, S.: Betriebstechnische Untersuchung beim Testeinsatz des Doppelgelenk-Hybrid-Busses von Hess in Dresden. Projektbericht, unveröffentlicht, Technische Universität Dresden, Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, Oktober 2010.

[29] Kindinger, C.: Entwicklung eines Simulationsmodells zur Planung und Steuerung von zuverlässigen Betriebsabläufen mit Anschlusssicherung an Bushaltestellen. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D, Abteilung Bauingenieurwesen, Oktober 2010.

[30] Klemenz, M.: Entwicklung eines Verfahrens zur optimierten fahrgastabhängigen Anschlussplanung. Dissertation, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen, Heft 71, 2008.

[31] Krimmling, J.; König, R.; Dutsch, S.; Morel, O.; Zistel, M.; Albrecht, T.; Matschek, T.; Thiele, G.: Verbesserung der Verkehrssteuerung auf der Nord-Süd-Verbindung in der Landeshauptstadt Dresden, Technische Universität Dresden, Abschlussbericht Stufe 1, unveröffentlicht, Januar 2009.

[32] Krimmling, J.; Engelmann, R.; Gassel, C.; Matschek, T.; Thiele, G.: Verbesserung der Verkehrssteuerung auf der Nord-Süd-Verbindung in der Landeshauptstadt Dresden, Technische Universität Dresden, Abschlussbericht Stufe 2, unveröffentlicht, Februar 2012.

[33] Krimmling,J.; Gassel, C.: Interfacing ITCS and road traffic control system – a synthesis to increase quality and LRT energy efficieny. In Proceedings 10th UITP Light Rail Conference, Madrid, 2010.

[34] Kurby, S.: Modell zur Echtzeitdisposition von Abschlusskonflikten im Eisenbahnbetrieb. Seminarvortrag, Technische Universität Dresden, Dezember 2010.

[35] Kümmel, D.: Untersuchung der relevanten Anschlüsse der Linie 3 in Dresden. Studentische Belegarbeit, Technische Universität Dresden, Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, Mai 2009.

[36] Langenscheidts Großwörterbuch. Herausgeber: Langenscheidt KG, Berlin und München 1993.

[37] Lehnert, M.; Gassel, C.; Matschek, T; Krimmling, J.: Senkung des Energiebedarfs bei Straßenbahnen durch Vermeiden zusätzlicher Halte. 23. Verkehrswissenschaftliche Tage, Dresden, 29. - 30. März 2012.

[38] Matschek, T.; Gassel, C.; Krimmling, J.: Cooperative traffic lights under consideration of the needs of public transport and motorized individual transport. In Proceedings 8th European Congress on ITS, Lyon. ERTICO, 06. – 09. Juni 2011.

[39] Pitzinger, P.: Priorität des öffentlichen Verkehrs an Lichtsignalanlagen. Verlag: Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, 2001.

[40] Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) – Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr. Herausgeber: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2010.

[41] Rüger, S.: Transporttechnologie städtischer öffentlicher Personenverkehr, 3. bearbeitete Auflage. VEB Verlage für Verkehrswesen, Berlin, 1986.

[42] Reinhardt, W.: Öffentlicher Personennahverkehr, 1. Auflage 2012. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2012.

[43] Schmidt, J.: Verifizierte Anschlusssicherung – Ein System für die Praxis. BEKA-Seminar itcs, Hannover, 29. November 2006.

[44] Schnippe, C.: Relevanz von Qualitätskriterien – Der ÖPNV im Urteil der Fahrgäste. Der Nahverkehr, Heft 4/1999, Seite 22 - 26.

[45] Seyfarth, J.: Untersuchung möglicher Zugfolgefälle auf der Nord-Süd-Verbindung in Dresden aus verkehrlicher und betrieblicher Sicht. Studienarbeit, Technische Universität Dresden, Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, 2009.

[46] Endbericht zur Verkehrserhebung „Mobilität in Städten – SrV2008“ und Auswertung zum SrV-Städtepegel. Technische Universität Dresden, Professur für Verkehrs- und Infrastrukturplanung, Dezember 2009.

[47] Steinborn, U.; Jin, S.; Oxana, S.: Betriebliche und konzeptionelle Untersuchungen zum Schienenpersonennahverkehr im S-Bahn-Netz Rhein-Main. Forschungsbericht, unveröffentlicht, Technische Universität Dresden, 2010.

[48] Thiele, G.; Nagel, W.: Verkehrsdatenerfassung in der Landeshauptstadt Dresden - Die Nutzung der Daten im Verkehrsmanagementsystem VAMOS. Dresdner Transferbrief 2.07, Technische Universität Dresden, 2007, S. 10-11.

[49] Tsakarestos, A.: Priorisierung des ÖPNV an den Lichtsignalanlagen – Aktuelle Technologien und Entwicklungen in der Forschung. VSVI-Seminar, Beschleunigung des ÖPNV, Veranstaltung im Landesamt für Umwelt, München, 21. April 2010.

[50] Integrationsschnittstelle rechnergestützter Betriebsleitsysteme, VDV Schriften Nr. 453. Herausgeber: Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln, 2003.

[51] Verordnung (EG) Nr. 561/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. März 2006 zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 3821/85 des Rates sowie der Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3820/85

[52] Zistel, M.: Zeitgemäße Bemessungsvorschrift für die Wendezeit straßengebundener öffentlicher Stadtverkehrsmittel in Deutschland. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, 2007

Quellenverzeichnis aus dem Internet und Sonderquellen

[101] Informationsbroschüre Produkt Visum, PTV AG. http://www.ptv.de/fileadmin/files_ptv.de/download/traffic/Broschueren_Flyer/VISUM/VISUM_Brochure_d_2010_Low_Res.pdf, Abruf vom 03.09.2011.

[102] Informationsbroschüre Produkt DILAX. http://www.dilax.com/pdf/Fahrgastzaehlung_DE.pdf, Abruf vom 05.09.2011.

[103] TNS Infratest. http://www.tnsinfratest.com/branchen_und_maerkte/personennahverkehr.asp, Abruf vom 10.08.2011.

[104] Kundenbarometer 2010 DVB. http://www.dnn-online.de/dresden/citynews/dvb-kunden-geben-gute-noten-im-oepnv-kundenbarometer-2010/r-citynews-a-11114.html, Abruf vom 10.08.2011.

[105] Anschlussgarantie Postplatztreffen DVB. http://www.dvb.de/downloads/de/Service/Kundengarantie/kg_flyer-anschlussgarantie091128.pdf, Abruf vom 10.08.2011.

[106] Verkehrsverbund Oberelbe: Fahrplanbuch Linie 80. http://www.vvo-online.de/remoteimage/mentz.do/standard/TTB/00005d31.pdf, Abruf vom 10.08.2011.

[107] Verkehrsverbund Oberelbe: Fahrplanbuch Linie 66, 8 und 7. http://www.vvo-online.de/remoteimage/mentz.do/standard/TTB/00006ee9.pdf http://www.vvo-online.de/remoteimage/mentz.do/standard/TTB/00005a8a.pdf http://www.vvo-online.de/remoteimage/mentz.do/standard/TTB/000003ff.pdf, Abruf vom 29.12.2011.

[108] Dresdner Verkehrsbetriebe DVB: Suche nach der Verbindung: Haltestelle Flügelweg, Dresden - Trachenberger Platz, Dresden. http://www.dvb.de, Abruf vom 13.07.2011.

[109] Dresdner Verkehrbetriebe DVB: Fahrplanbuch Linie 61. http://www.dvb.de, Abruf vom 10.08.2011.

[110] Dresdner Verkehrsbetriebe DVB: Suche nach der Verbindung: Haltestelle Spenerstrasse, Dresden - Tharandter Strasse, Dresden. http://www.dvb.de, Abruf vom 13.07.2011.

[111] Dresdner Verkehrsbetriebe DVB: Fahrplanbuch Linie 63. http://www.dvb.de, Abruf vom 13.07.2011.

[112] Leipziger Verkehrsbetriebe LVB: Fahrplanbuch Linie 86. http://www.lvb.de, Abruf vom 10.08.2011

[113] Leipziger Verkehrsbetriebe LVB: Suche nach der Verbindung: Adresse An der Alten Mühe 1, Leipzig-Seehausen - Haltestelle Lößnig, Leipzig. http://www.lvb.de, Abruf vom 10.08.2011

[201] Konsultationstermin mit Herrn Prof. Krimmling am 26. Januar 2012 in Dresden

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Anhangverzeichnis

Anhang 1: Fragebogen

Anschlüsse

1. Werden in Ihrem Unternehmen Anschlüsse **geplant**?
   - A ☐ keine → **weiter mit Frage 7**
   - B ☐ wenige
   - C ☐ viele
2. Für welche Verkehrszeiten werden in Ihrem Unternehmen Anschlüsse **geplant**?
   - A ☐ Schwachverkehrszeit
   - B ☐ Nebenverkehrszeit
   - C ☐ Hauptverkehrszeit
3. Welche Verkehrsmittel dienen als **Zubringer** zu einem **geplanten** Anschluss?
   - A ☐ Bus
   - B ☐ Straßenbahn
   - C ☐ U-Bahn
   - D ☐ S-Bahn
   - E ☐ Regionalbahn
   - F ☐ Fernbahn
   - G ☐ Sonderverkehrsmittel
4. Handelt es sich dabei **auch** um **Zubringer** anderer Verkehrsunternehmen?
   - A ☐ nein
   - B ☐ ja
5. Welche Verkehrsmittel dienen als **Abbringer** von einem **geplanten** Anschluss?
   - A ☐ Bus
   - B ☐ Straßenbahn
   - C ☐ U-Bahn
   - D ☐ S-Bahn
   - E ☐ Regionalbahn
   - F ☐ Fernbahn
   - G ☐ Sonderverkehrsmittel
6. Handelt es sich dabei **auch** um **Abbringer** anderer Verkehrsunternehmen?
   - A ☐ nein
   - B ☐ ja
7. Werden in Ihrem Unternehmen Anschlüsse **gesichert**?
   - A ☐ keine → **weiter mit Frage 17**
   - B ☐ planmäßige, im Fahrplan ausgewiesene und garantierte Anschlüsse
   - C ☐ planmäßige, im Fahrplan ausgewiesene aber nicht garantierte Anschlüsse
   - D ☐ planmäßige, im Fahrplan nicht ausgewiesene Anschlüsse
   - E ☐ spontan entstehende Umsteigebeziehungen
8. Wird die **Anschlusssicherung** bei **planmäßigem** Betrieb unterstützt?
   - A ☐ nein
   - B ☐ durch Abstimmen der Fahrer untereinander
   - C ☐ durch einen Disponenten
   - D ☐ durch Technik oder Leitsysteme
     → welche? _____
   - E ☐ anders _____
9. Wird die **Anschlusssicherung** bei **unplanmäßigem** Betrieb unterstützt?
   - A ☐ nein
   - B ☐ durch Abstimmen der Fahrer untereinander
   - C ☐ durch einen Disponenten
   - D ☐ durch Technik oder Leitsysteme
     → welche? _____
   - E ☐ anders _____
10. Bei verspätetem Zubringer muss der Abbringer eventuell warten.
    Wer entscheidet letztlich über die Wartezeit?
    - A ☐ das Fahrpersonal
    - B ☐ der Disponent
    - C ☐ ein vollautomatisches System
    - D ☐ eine Kombination aus A ☐, B ☐ und C ☐
    - E ☐ sonstige, und zwar _____
11. Wie erfolgt bei Ihnen die Entscheidung?
    - A ☐ anhand einer vorab festgelegten maximalen Wartezeit von ___ min
    - B ☐ anhand der konkreten betrieblichen Situation
    - C ☐ anders _____
12. Unter welchen Aspekten wird bei Ihnen die maximale Wartezeit festgelegt?
    - A ☐ Takt des Abbringers
    - B ☐ Wendezeit des Abbringers
    - C ☐ Kapazität der Haltestelle
    - D ☐ Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer
    - E ☐ Anteil der betroffenen durchfahrenden Fahrgäste (End- oder Zwischenknoten)
    - F ☐ andere _____
13. Sollten in Ihrem Unternehmen mehr **geplante** Anschlüsse **gesichert** werden?
    - A ☐ nein
    - B ☐ Eventuell
    - C ☐ ja
14. Warum werden nicht mehr **geplante** Anschlüsse **gesichert**?

A ☐ wegen ungeeigneter Anlagen

B ☐ wegen zu geringer Betriebsstabilität

C ☐ aus wirtschaftlichen Gründen

D ☐ wegen zu geringer Kapazität zum Sichern von Anschlüssen

E ☐ aus anderen Gründen _____

15. Sollten in Ihrem Unternehmen mehr **spontane** Umsteigebeziehungen **gesichert** werden?

A ☐ nein

B ☐ eventuell

C ☐ ja

16. Warum werden nicht mehr **spontane** Umsteigebeziehungen **gesichert**?

A ☐ wegen ungeeigneter Anlagen

B ☐ wegen zu geringer Betriebsstabilität

C ☐ aus wirtschaftlichen Gründen

D ☐ wegen zu hoher Belastung für das Fahrpersonal

E ☐ aus anderen Gründen ___

17. Sehen Sie weitere Probleme, die mit dem **Planen** oder **Sichern** von Anschlüssen verbunden sind?

A ☐ Nein

B ☐ Ja
→ welche? _____

_____

LSA-Beeinflussung

18. Werden auf Ihren Linienwegen LSA beeinflusst?

A ☐ keine → **weiter mit Frage 23**

B ☐ wenige

C ☐ viele

19. Für welche Verkehrsmittel werden LSA beeinflusst?

A ☐ Bus

B ☐ Straßenbahn

20. Welche Steuerungsmöglichkeiten werden angewandt?

A ☐ absolute Bevorrechtigung

B ☐ Verlängern der Grünphase

C ☐ Verkürzen der Rotphase

D ☐ Verschieben der Grünphase

E ☐ Einschieben einer zusätzlichen Grünphase

21. Wird die Fahrplanabweichung des Fahrzeugs bei der Steuerung der LSA berücksichtigt?

A ☐ nein

B ☐ ja

22. Werden noch weitere Kriterien beachtet?

A ☐ nein

B ☐ ja
→ welche? _____

Insgesamt

23. Haben Sie weitere Hinweise oder Bemerkungen?

_____

_____

Anhang 2: Flyer Anschlussgarantie Postplatztreffen DVB [105]

Anschluss-Garantie

Postplatz-Treffen – das Herzstück im Dresdner Nachtverkehr

Historisch gewachsen und zentral gelegen bildet der Postplatz nachts den wichtigsten Dreh- und Angelpunkt im Dresdner Liniennetz. Hier treffen sich in regelmäßigen Abständen fast alle GuteNachtLinien gleichzeitig. So haben Sie nur einen kurzen Aufenthalt und falls doch einmal eine Linie verspätet eintrifft, warten alle anderen Fahrzeuge.

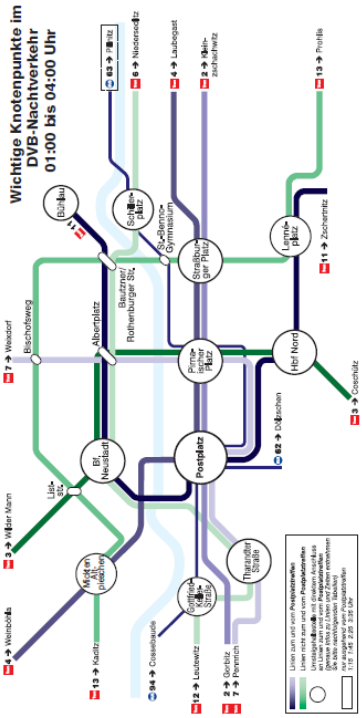
Folgende Linien nehmen an den Postplatz-Treffen teil:

- **Linie 2: Kleinzschachwitz – Gorbitz**
- **Linie 4: Weinböhla – Laubegast**
- **Linie 7: Pennrich – Weixdorf**
- **Linie 11: Bühlau – Zschertnitz**
- **Linie 12: Leutewitz – Striesen**
- **Linie 75: Goppeln – Messe**
- **Linie 62: Johannstadt – Dölzschen**
- **Linie 94: Cossebaude – Postplatz**

Bitte vergewissern Sie sich im tagesaktuellen Fahrplan, zu welchen Zeiten und mit welchem Fahrtziel Ihre gewünschten Linien am Postplatz-Treffen teilnehmen, da Ausnahmen für die Linien 7, 12, 75, 62 und 94 bestehen.

Die Postplatz-Treffen finden zu folgenden Zeiten statt:

- täglich von 22:45 Uhr bis 1:45 Uhr alle 30 Minuten sowie um 2:25 Uhr, 3:35 Uhr, 4:15 Uhr, 4:45 Uhr und 5:15 Uhr
- sonnabends zusätzlich von 5:15 Uhr bis 8:45 Uhr alle 30 Minuten
- sonntags zusätzlich von 5:15 Uhr bis 9:45 Uhr alle 30 Minuten



Serviceruf 0351 / 857 10 11 · www.dvb.de

Wir bewegen Dresden.

DVB

Anhang 3: Ermitteln der Kenngrößen c_K und c_W

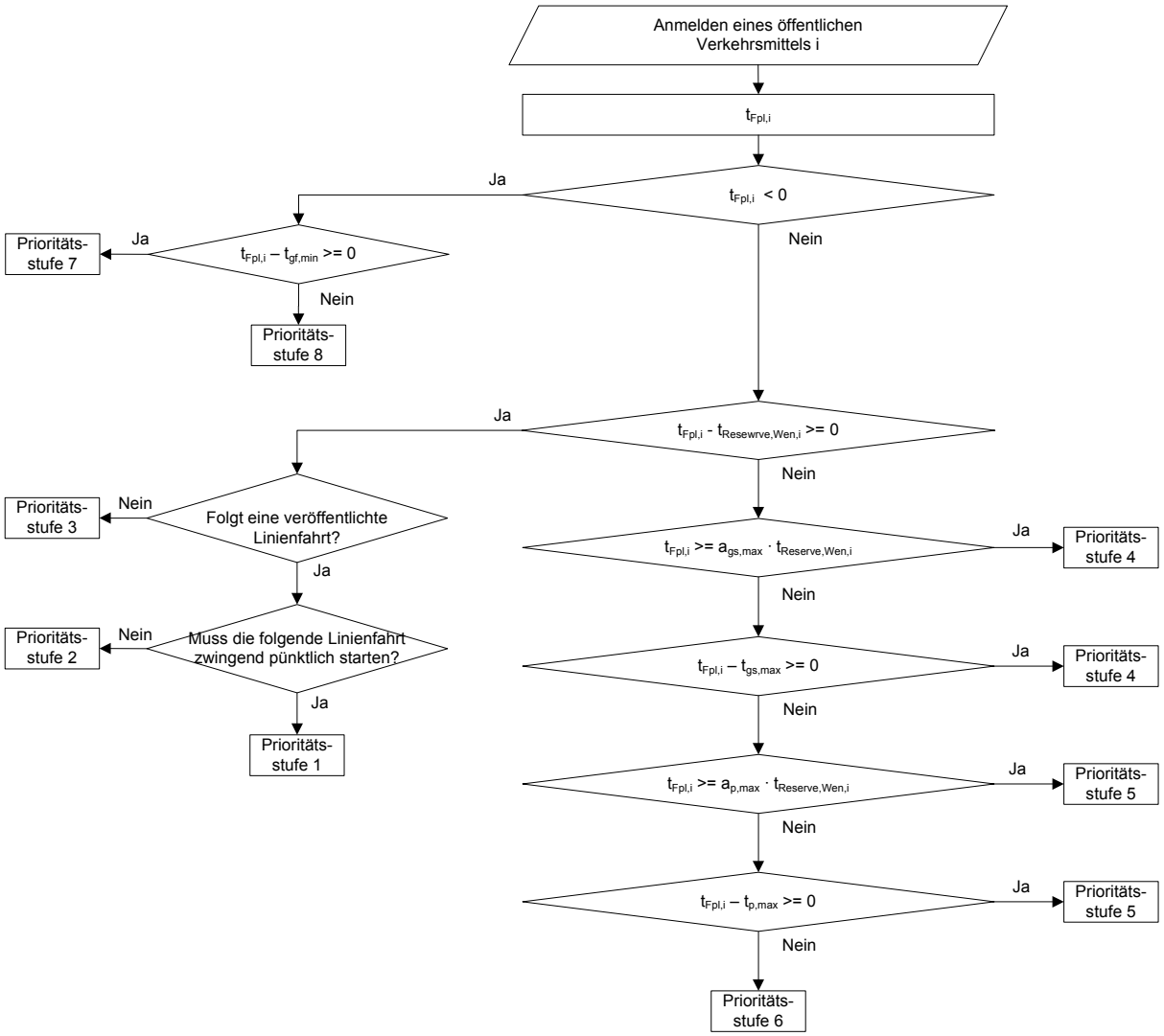
Taktzeit [min]	c_W [-]	Wartezeit [min]				
		$c_K = 1$	$c_K = 1{,}5$	$c_K = 2$	$c_K = 2{,}5$	$c_K = 3$
5	0,05	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75
10	0,05	0,5	0,75	1	1,25	1,5
15	0,05	0,75	1,125	1,5	1,875	2,25
20	0,05	1	1,5	2	2,5	3
30	0,05	1,5	2,25	3	3,75	4,5
60	0,05	3	4,5	6	7,5	9
5	0,1	0,5	0,75	1	1,25	1,5
10	0,1	1	1,5	2	2,5	3
15	0,1	1,5	2,25	3	3,75	4,5
20	0,1	2	3	4	5	6
30	0,1	3	4,5	6	7,5	9
60	0,1	6	9	12	15	18
5	0,15	0,75	1,125	1,5	1,875	2,25
10	0,15	1,5	2,25	3	3,75	4,5
15	0,15	2,25	3,375	4,5	5,625	6,75
20	0,15	3	4,5	6	7,5	9
30	0,15	4,5	6,75	9	11,25	13,5
60	0,15	9	13,5	18	22,5	27
5	0,2	1	1,5	2	2,5	3
10	0,2	2	3	4	5	6
15	0,2	3	4,5	6	7,5	9
20	0,2	4	6	8	10	12
30	0,2	6	9	12	15	18
60	0,2	12	18	24	30	36

Die halbe Taktzeit ist überschritten.
sinnvoller Bereich für die Kategorie 1
sinnvoller Bereich für die Kategorie 2
sinnvoller Bereich für die Kategorie 3 und 4

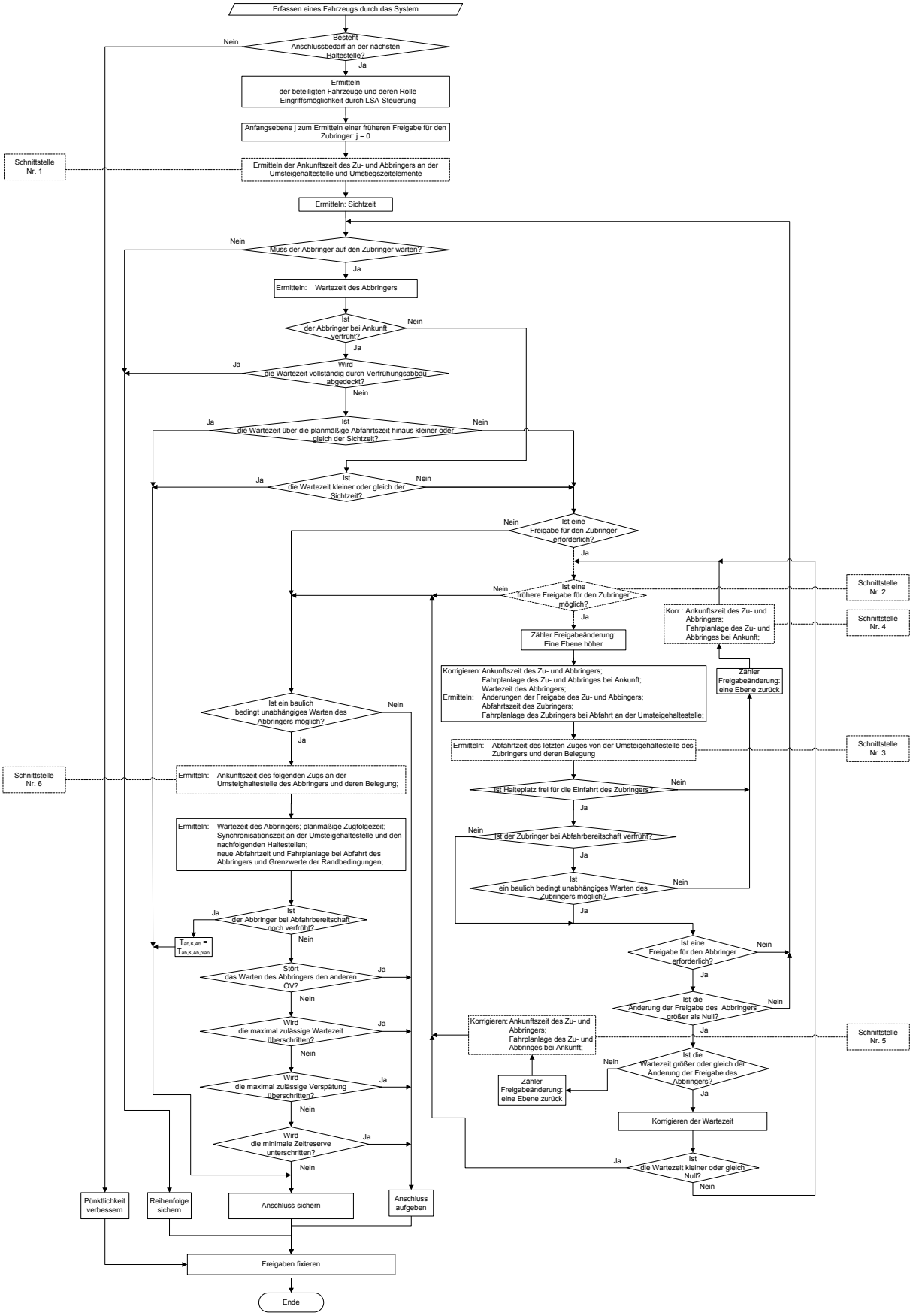
Anhang 4: Algorithmen

Anhang 4.1: Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen unter Betrachtung der Fahrplanlage und der Zeitreserve in der Wendezeit in Textform

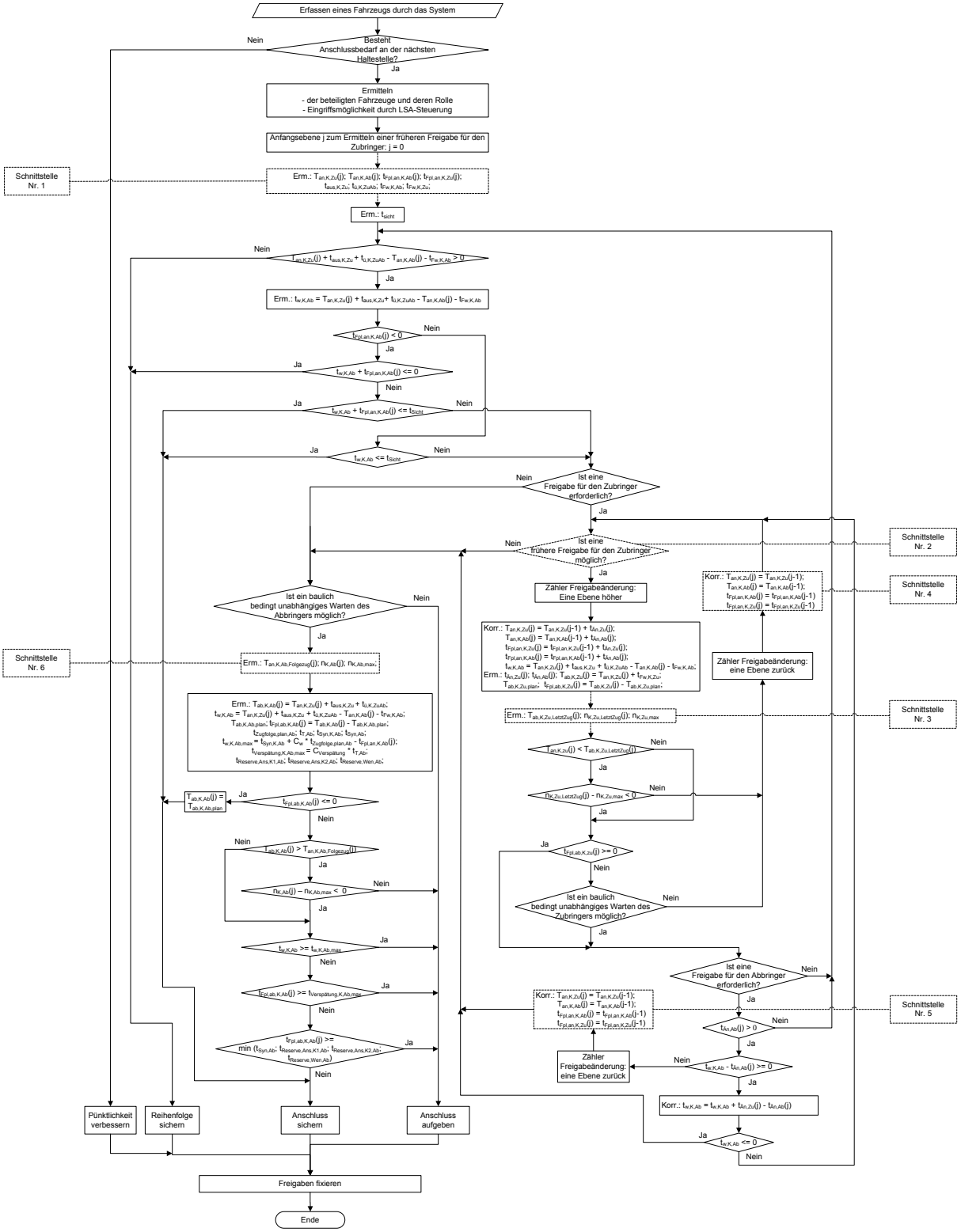
Anhang 4.2: Algorithmus zum Ermitteln der Prioritätsstufen unter Betrachtung der Fahrplanlage und der Zeitreserve in der Wendezeit mit Parametern



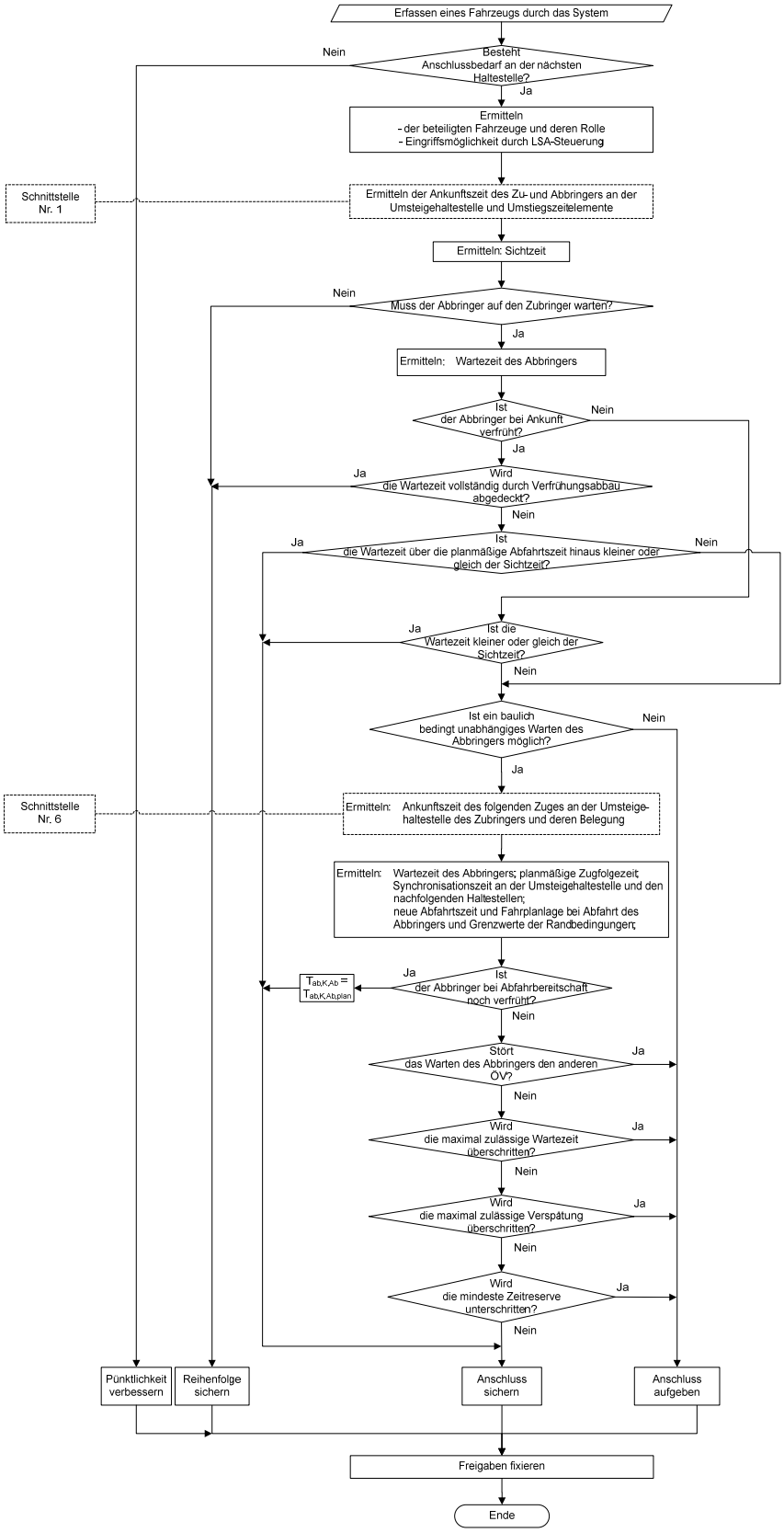
Anhang 4.3: Algorithmus zur Anschlusssicherung mit Schnittstellen in Textform



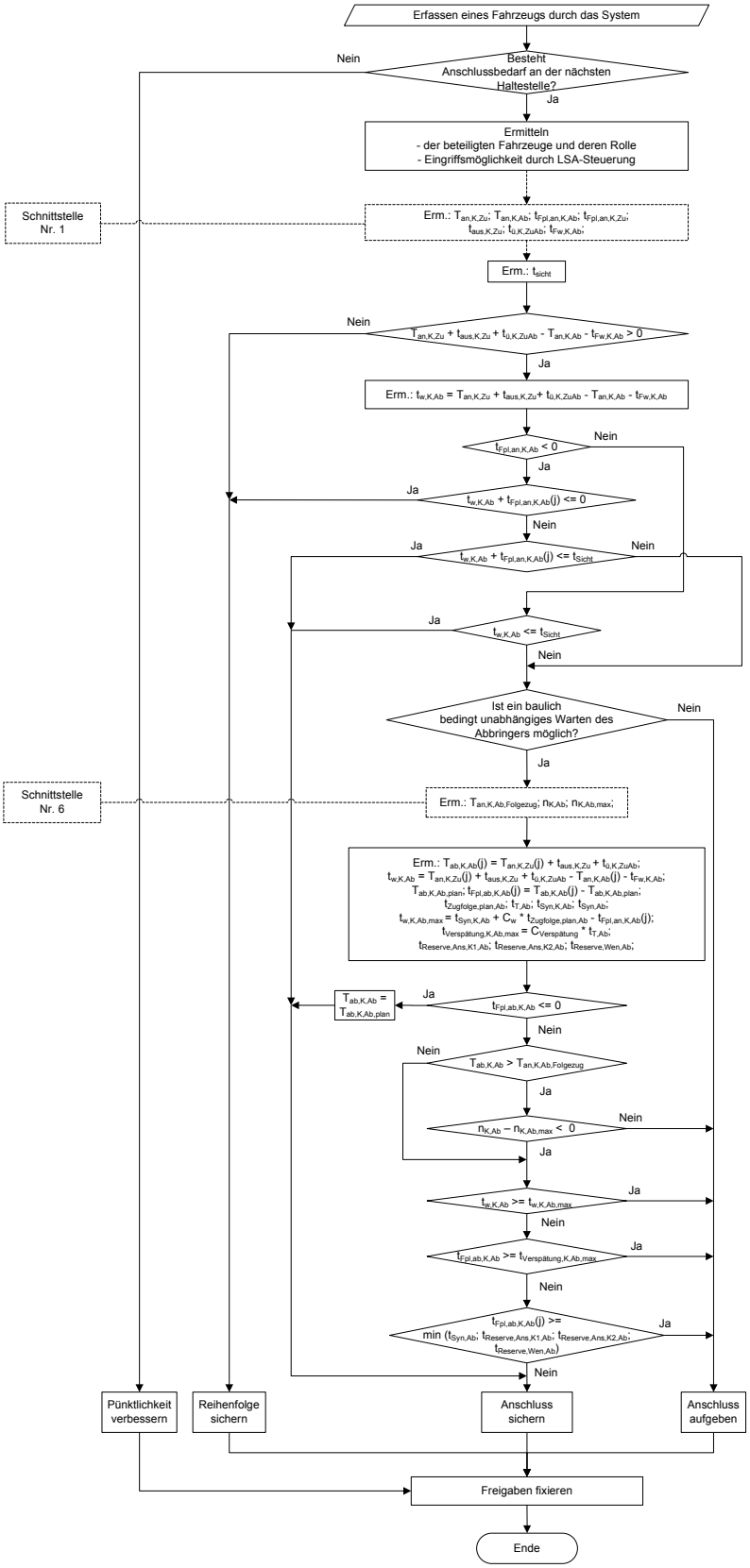
Anhang 4.4: Algorithmus zur Anschlusssicherung mit Schnittstellen mit Parametern



Anhang 4.5: Algorithmus zur Anschlusssicherung ohne Verfügbarkeit kooperativer LSA am Eingangsknoten mit Schnittstellen in Textform



Anhang 4.6: Algorithmus zur Anschlusssicherung ohne Verfügbarkeit kooperativer LSA am Eingangsknoten mit Schnittstellen mit Parametern



Anhang 4.7: Erläuterung der Schnittstellen

Idf Nr.	Anforderungen	andere mitwirkende Modelle	Ein- oder Ausgangsgrößen	Aufgaben des Modells
1	- Anmeldung des Zu- und Abbringers	- AN-M - MIV-M - LSA-M	- $T_{an,K,Zu}(j)$ - $T_{an,K,Ab}(j)$ - $t_{Fpl,an,K,Zu}(j)$ - $t_{Fpl,an,K,Ab}(j)$ - $t_{aus,K,Zu}$ - $t_{ü,K,ZuAb}$ - $t_{Fw,K,Ab}$ - $t_{Fw,K,Zu}$	- Annäherungsmodell: Ermittlung der acht Parameter und Übermittlung zum ÖV-Modell
2	- eine frühere Freigabe für den Zubringer	- AN-M - MIV-M - LSA-M	- eine frühere Freigabe für den Zubringer, eventuell mit geänderter Freigabe für den Abbringer	- LSA- und MIV-Modell: Ermittlung einer früheren Freigabe für den Zubringer und Übermittlung zum ÖV-Modell
3	- Prüfung der Kapazität des Halteplatzes des Zubringers	- AN-M	- $T_{ab,K,Zu,LetztZug}$ - $n_{K,Zu,LetztZug}$ - $n_{K,Zu,max}$	- Annäherungsmodell: Ermittlung bzw. Korrektur der drei Parameter und Übermittlung zum ÖV-Modell
4	- Entfallen einer früheren Freigabe des Zubringers	- AN-M	- $T_{an,K,Zu}(j-1)$ - $T_{an,K,Ab}(j-1)$ - $t_{Fpl,an,K,Zu}(j-1)$ - $t_{Fpl,an,K,Ab}(j-1)$	- ÖV-Modell: Mitteilung des Ausfallens einer früheren Freigabe des Zubringers und der zurückgesetzten vier Parameter an das Annäherungsmodell
5	- Entfallen einer früheren Freigabe des Zubringers	- AN-M	- $T_{an,K,Zu}(j-1)$ - $T_{an,K,Ab}(j-1)$ - $t_{Fpl,an,K,Zu}(j-1)$ - $t_{Fpl,an,K,Ab}(j-1)$	- ÖV-Modell: Mitteilung des Ausfallens einer früheren Freigabe des Zubringers und der zurückgesetzten vier Parameter an das Annäherungsmodell
6	- Prüfung der Kapazität des Halteplatzes des Abbringers	- AN-M	- $T_{an,K,,Ab,FolgeZug}$ - $n_{K,Ab}$ - $n_{K,Ab,max}$	- Annäherungsmodell: Ermittlung der drei Parameter und Übermittlung zum ÖV-Modell

Anhang 5.1: Protokoll zu Fahrplanabweichungen des Zu- und Abbringers

lfd. Nr. Fahrten	Zubringer [s]	Abbringer [s]
1	27	35
2	34	36
3	200	1
4	6	43
5	61	49
6	21	24
7	25	26
8	135	54
9	28	31
10	112	69
11	21	4
12	3	26
13	68	16
14	62	4
15	117	4
16	5	6
17	7	6
18	-35	5
19	122	12
20	17	88
21	31	82
22	19	64
23	30	-5
24	123	8
25	41	23
26	9	13
27	-48	54
28	51	4
29	4	13
30	1	38
31	48	16
32	108	-4
33	36	15
34	28	30
35	9	46
36	15	34
37	17	38
38	220	12
39	0	12
40	71	80

Anhang 5.2: Simulationsergebnisse zum Ermitteln der Prioritätsstufen des Zu- und Abbringers

lfd. Nr. Fahrten	Verspätung [s]		Prioritätsstufen [-]		Prioritätsstufen [-]	
	Zubringer	Abbringer	Zubringer	Abbringer	Zubringer	Abbringer
1	27	35	6	5	6	6
2	34	36	5	5	6	6
3	200	1	1 bis 3	6	4	6
4	6	43	6	5	6	6
5	61	49	4	5	5	6
6	21	24	6	6	6	6
7	25	26	6	6	6	6
8	135	54	1 bis 3	5	4	6
9	28	31	6	5	6	6
10	112	69	4	4	5	5
11	21	4	6	6	6	6
12	3	26	6	6	6	6
13	68	16	4	6	5	6
14	62	4	4	6	5	6
15	117	4	4	6	5	6
16	5	6	6	6	6	6
17	7	6	6	6	6	6
18	-35	5	7	6	7	6
19	122	12	1 bis 3	6	4	6
20	17	88	6	4	6	5
21	31	82	5	4	6	5
22	19	64	6	4	6	5
23	30	-5	5	7	6	7
24	123	8	1 bis 3	6	4	6
25	41	23	5	6	6	6
26	9	13	6	6	6	6
27	-48	54	7	5	7	6
28	51	4	5	6	6	6
29	4	13	6	6	6	6
30	1	38	6	5	6	7
31	48	16	5	6	6	6
32	108	-4	4	7	5	7
33	36	15	5	6	6	6
34	28	30	6	5	6	6
35	9	46	6	5	6	6
36	15	34	6	5	6	6
37	17	38	6	5	6	6
38	220	12	1 bis 3	6	4	6
39	0	12	6	6	6	6
40	71	80	4	4	5	5
		Parameter	Testrunde 1		Testrunde 2	
			$t_{gf,min}$ = - 60s		$t_{gf,min}$ = - 60s	
			$t_{p,min}$ = 0s		$t_{p,min}$ = 0s	
			$t_{p,max}$ = 60s		$t_{p,max}$ = 60s	

$t_{gs,max}$ = 180s	$t_{gs,max}$ = 180s
$a_{p,max}$ = 0,25	$a_{p,max}$ = 0,25
$a_{gs,max}$ = 0,5	$a_{gs,max}$ = 0,5
$t_{Reserve,Wen}$ = 120s	$t_{Reserve,Wen}$ = 600s
t_{Syn} nicht vorhanden	t_{Syn} nicht vorhanden
$t_{Reserve,Ans,\ K1}$ nicht vorhanden	$t_{Reserve,Ans,\ K1}$ = 240s
$t_{Reserve,Ans,\ K2}$ nicht vorhanden	$t_{Reserve,Ans,\ K2}$ nicht vorhanden

Anhang 5.3: Simulationsergebnisse zur Anschlusssicherung

lfd. Nr. Fahrten	Fahrplan-abweichung bei Ankunft [s]		Wartezeit des Abbringers infolge der Anwendung der geänderten Freigabepaare [s]			Fahrplan-abweichung bei Abfahrbereitschaft [s]		Zunahme Verspätung [s]	Entscheidung [-]
	Zubringer	Abbringer	vor	nach	nach / max.	-	max.		
1	27	35	0	0	55	35	180	0	1
2	34	36	3	3	54	39	180	3	3
3	200	1	204	134	59	165	180	164	5
4	6	43	0	0	47	43	180	0	1
5	61	49	17	0	41	49	180	0	2
6	21	24	2	2	66	26	180	2	3
7	25	26	4	4	64	30	180	4	3
8	135	54	86	16	6	100	180	46	5
9	28	31	2	2	59	33	180	2	3
10	112	69	48	28	21	97	180	28	5
11	21	4	22	2	86	6	180	2	4
12	3	26	0	0	64	26	180	0	1
13	68	16	57	0	44	46	180	30	4
14	62	4	63	0	56	34	180	30	4
15	117	4	118	48	56	82	180	78	4
16	5	6	4	4	84	10	180	4	3
17	7	6	6	0	84	6	180	0	2
18	-35	5	0	0	85	5	180	0	1
19	122	12	115	45	48	87	180	75	4
20	17	88	0	0	2	88	180	0	1
21	31	82	0	0	8	82	180	0	1
22	19	64	0	0	26	64	180	0	1
23	30	-5	40	20	95	15	180	15	4
24	123	8	120	50	52	88	180	80	4
25	41	23	23	3	67	26	180	3	4
26	9	13	1	1	77	14	180	1	3
27	-48	54	0	0	36	54	180	0	1
28	51	4	52	0	56	34	180	30	4
29	4	13	0	0	77	13	180	0	1
30	1	38	0	0	52	38	180	0	1
31	48	16	37	17	74	33	180	17	4
32	108	-4	117	47	64	73	180	73	4
33	36	15	26	6	75	21	180	6	4
34	28	30	3	3	60	33	180	3	3
35	9	46	0	0	44	46	180	0	1
36	15	34	0	0	56	34	180	0	1
37	17	38	0	0	52	38	180	0	1
38	220	12	213	143	48	185	180	173	5
39	0	12	0	0	78	12	180	0	1
40	71	80	0	0	10	80	180	0	1

Entscheidung

1 Reihenfolge sichern (ohne Freigabeänderungen)

2 Reihenfolge sichern (mit Freigabeänderungen)
3 Anschluss sichern (Sichtzeit)
4 Anschluss sichern
5 Anschluss aufgeben

Anhang 5.4: Änderungen der Wartezeiten und Fahrplanabweichungen des Abbringers der gesicherten Anschlüsse

lfd. Nr. Fahrten	Fahrplanabweichung bei Ankunft [s]		Wartezeit des Abbringers infolge der Anwendung der geänderten Freigabepaare [s]		Fahrplan-abweichung bei Abfahrbereitschaft [s]	Änderung Fahrplan-abweichung [s]
	Zubringer	Abbringer	vor	nach	-	
2	34	36	3	3	39	3
5	61	49	17	0	49	0
6	21	24	2	2	26	2
7	25	26	4	4	30	4
9	28	31	2	2	33	2
11	21	4	22	2	6	2
13	68	16	57	0	46	30
14	62	4	63	0	34	30
15	117	4	118	48	82	78
16	5	6	4	4	10	4
17	7	6	6	0	6	0
19	122	12	115	45	87	75
23	30	-5	40	20	15	20
24	123	8	120	50	88	80
25	41	23	23	3	26	3
26	9	13	1	1	14	1
28	51	4	52	0	34	30
1	48	16	37	17	33	17
32	108	-4	117	47	73	77
33	36	15	26	6	21	6
34	28	30	3	3	33	3
Mittelwert	49,8	15,1	39,6	12,2	37,4	22,2